大众天文学史

○ 王玉民 著

"十二五"国家重点图书出版规划项目
中国科学院自然科学史研究所 策划
丛书主编 郭书春



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

责任编辑 王洪胜 魏海增
装帧设计 魏 然 李玉颖

《大众数学史》
《大众物理学史》
《大众化学化工史》
《大众天文学史》
《大众地学史》
《大众生物学史》
《大众医学史》
《大众农学史》
《大众建筑史》
《大众机械技术史》
《大众纺织技术史》
《大众军事技术史》

读史使人明智，科学使人深刻。科学技术史既蕴含着科技知识，又充满了人的故事。《大众科学技术史丛书》由科技史专家撰写，面向大众读者；兼顾知识与方法，融汇科技与人文；再现发现发明，倡导求真务实；推动文明进步，助力民族复兴。

ISBN 978-7-5331-7665-5



定价：27.00元

大众天文学史



◎ 王玉民 著

"十二五"国家重点图书出版规划项目
中国科学院自然科学史研究所 策划
丛书主编 郭书春

山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

大众天文学史/王玉民著. 一济南:山东科学技术出版社,2015
(大众科学技术史丛书)
ISBN 978-7-5331-7665-5

Ⅰ.①大… Ⅱ.①王… Ⅲ.①天文学史一世界一普及读物 Ⅳ.①P1-091

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 292416 号

大众科学技术史丛书

大众天文学史

王玉民 著

出版者:山东科学技术出版社
地址:济南市玉函路 16 号
邮编:250002 电话:(0531)82098088
网址:www.lkj.com.cn
电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn
发行者:山东科学技术出版社
地址:济南市玉函路 16 号
邮编:250002 电话:(0531)82098071
印刷者:山东德州新华印务有限责任公司
地址:德州经济开发区晶华大道 2306 号
邮编:253074 电话:(0534)2671209

开本:720mm×1000mm 1/16
印张:15
版次:2015 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-5331-7665-5
定价:27.00 元

《大众科学技术史丛书》
编　委　会

序

Foreword

英国哲学家培根说，读史使人明智，科学使人深刻。科学技术史图书可以给读者提供一举数得的精神食粮，而科学技术史的普及读物对社会的影响常常比专著还要大。了解科学技术进步的历史不仅有利于掌握知识，更有利于认识科技发展的规律，学会科学发现和技术发明的方法，提高国民特别是青少年学生的素质。因此，向读者提供高质量的科学技术史普及读物，是科学技术史学者和出版机构责无旁贷的使命。

为了充分利用科学技术史传播科学知识，弘扬科学精神，培养青少年学科学、爱科学的良好素质，学术界有必要撰写系统阐述科学技术不同学科发展历史的普及读物。为此，中国科学院自然科学史研究所与山东科学技术出版社商定合作撰写、出版一套《大众科学技术史丛书》。该课题得到有关部门的大力支持，并列入《"十二五"国家重点图书、音像、电子出版物出版规划》增补项目。

本丛书展现历史上的科学技术知识以及科学技术专家的生平、科学活动和科学思想，兼具科学性和人文性，反映科学技术发展与人文思想演进的关系。本丛书力求具有科学性、系统性和通俗可读性。

所谓科学性，就是科学准确地表述各学科史的内容，并尽可能汲取最新的研究成果。各册所述内容必须是学术界公认的，经得起时间考验的。对学术界尚有争论的内容，或者以一家为主，兼及别家，或者并列诸家之说。主要学术观点力求有原始文献或转引自权威著作的文献作依据，避免粗制滥造、以讹传讹。

所谓系统性，一方面，指在书目设置上既有基础学科，又有应用学科，覆盖数

学、物理学、化学化工、天文学、地学、生物学、医学、农学、建筑、机械技术、纺织技术、军事技术等科学技术史的各个主要分支学科；另一方面，指每一学科的篇章设置能够涵盖该学科的重要成就、著作和科学家、重大事件和科学技术机构等，要使读者能够比较完整地了解该学科由低到高的不同发展阶段及其在不同文化传统中的特点。

所谓通俗可读性，就是既要使用规范的汉语语言和标准汉字，又要做到通俗易懂，雅俗共赏，老少咸宜。在确保科学性的同时，要尽量采用便于大众理解的表述方式，并对历史上出现的、今天已经不再使用的重要术语用现代术语加以解释。

我们希望，广大读者特别是青少年学生通过本丛书既可以领略科学技术的严谨，又能理解它们对经济和社会发展的巨大作用，受到科学精神的熏陶，激发对科学技术的兴趣，树立钻研科学技术的志向。

本丛书各分册的作者都是科学技术史学科有较深造诣的专家，有的是学科的领军人物，有的是成绩突出的中青年骨干。当然，任何工作都是阶段性的，每位学者的知识都有局限性，即使是术有专攻的专家也不例外，因此本丛书也可能有明显的疏漏和错误之处，恳请读者们不吝赐教，以便再版时修正。

中国科学院自然科学史研究所所长、研究员

张柏春

前言 Preface

探求事物的奥秘，是人的天性，也是人们最大的快乐之一。人类凭着这种天性，逐渐掌握了日月星辰与人类生活的关系。

天文学是一门非常独特的学科，它的研究对象离我们极远极远，只能远观，不能触摸。距离产生美，距离也产生神秘感，所以任何一个天体在我们眼底的映像，都充溢着无与伦比的美，也充溢着探索不尽的神秘。从人类文明的曙光刚刚从地平线升起时，人们就对头顶上的日月星辰投入了极大的热情和关注，一直到今天依然如此。人类探索宇宙星空的历史，不但展现了自然界的无穷奥秘，也标志着人类智慧的不断攀升，其中充满了发现的惊喜、跋涉的艰辛，既有顿悟的豁然开朗，也有攻关时的障碍重重。这一过程本身就是美的，也是神秘的，我们应该了解这一过程。

天文学的历史，我们在上中学历史课时就已经接触到，无论是中国历史，还是世界历史，对早期文明都要提到它的"天文学的萌芽"以至"高度发达的天文学知识"，自然科学的其他学科很少有这样的殊荣。这说明，在人类文明的早期，天文学曾非常重要，无论是定方向、定时刻，还是定季节指导农事，每个人都要了解一些天文星象知识。所以，中国明末清初时期的大学问家顾炎武在《日知录》中写过这么一段话："三代（即夏、商、周，编者注）以上，人人皆知天文。"

现代，由于社会的分工，不需要"人人皆知天文"了。天文学的根本内容属于一些极其专业的课题，只需专家来研究，别人可以不去理会，于是我们只要坐享其成，据报时拨正手表、按预测观览天象、开屏幕欣赏图片就可以了。这样的结果是，一般人对一些基本的天文常识也缺乏了解。比如，很多人不知道星星也像日月那样在东升西落。其实，了解这一点并不比掌握加减乘除更难。今天，天文学

仍然重要，甚至更为重要，我们仍需在一定程度上“知天文”。所以，本书希望在这个方面加以努力，按天文学发展的主线，通过讲述历史，把极其专业的天文知识转化为生动通俗的叙述，让读者在轻松阅读中感受到天文学的巨大魅力。

既然是讲历史，我们还希望这本小书能唤起读者朋友们的“历史感”。科学上有很多事件，是随着历史的发展直到后来甚至“现在”我们才领会了它们的意义的。但是，过分把握“现在”常常也会蒙蔽我们的双眼，我们站在现代科学的制高点，却抽去了科学曾经上升的阶梯，不知道科学在过去的样子，这就叫“缺乏历史感”。因此，这本书中不仅要铺演各种天文成就的取得过程、传授天文学知识，也将描述人类对宇宙认识的演变历程，强调用古人的方法去接近古人的知识，不单纯地把它理解成“真理”战胜“谬误”的知识积累史。这样，了解了天文学的“过程”，才能更深刻地领悟天文学的本质和灵魂，真正理解先贤惊人的智慧和创造精神。

德国哲学家康德 1788 年在任哥尼斯堡大学校长时，曾说：**“有两种东西，我们愈是反复地加以思考，就愈能感受到它们使我们心灵有增无已的赞叹和敬畏：一是我们头上的星空，一是我们心中的道德律。”**康德把“星空”与“道德律”并提，正是赞叹和敬畏它们的神秘和永恒。我们头上的星空，几万年来几乎都是一个样子，但在人的心目中，不同的时代它们却有不同的“性质”，本书要试图展示、强调这个“性质”(其实是人类对星空的“认识”，但每个时代的人都倾向认为他们的认识是真实的)的变化、发展过程，直到此刻作者动笔之时。至于未来它们的“性质”是什么样，只有等待青少年读者们去努力探寻了。

因为很多人一见到 number(数)就 numb(麻木)，所以这本小书尽量不用数学公式推导或引用数表，尽可能用形象的文字来叙述。这本小书若能让钟情于天文的人再有所收益，让没接触过天文的人也能读懂，感到自己也算是“上知天文”了，当是作者最大的慰藉。

感谢 88 岁的老母亲王秀芝和已故的父亲王志忠，父母亲含辛茹苦，从小就给我宽松的生活环境，儿童时期的我得以心无旁骛地沉浸在自己对天文等的爱好中去；也感谢妻子路学君和小女王采薇，靠她们的赞赏和支持，才使我一路自学走到今天，也感谢我供职的北京天文馆、北京古观象台，让我衣食无忧并给我充裕的时间读书、思考、写作，充分自由地从事天文学史研究，并写出一系列天文学科普著作。

王玉民

2014 年 12 月

目录

Contents

上篇:古代篇　古人眼中的宇宙

中篇:近代篇　理性光芒照耀天地

下篇:现代篇　宇宙时空新视野



上篇：古代篇

古人眼中的宇宙





一、文明的曙光映照天穹：天文学的诞生

过去，儿童启蒙第一本要读的书就是《三字经》，其中说："三光者，日月星；三才者，天地人。"(图 1-1)寥寥数字，道出了宇宙现象、宇宙中出现人之后形成的理解和被理解的关系。是的，虽然我们早已知道地球不是宇宙的中心，但毫无疑问，人类是认识宇宙的起点，我们必须从这一点开始，逐渐来了解天文学。

现代社会，人们行色匆匆，奔波于快节奏的工作和娱乐中，很少有人抬头端详头顶上的星空——并不是星空不值得一看，而是因为有专家负责观测，别人确实不用为此多费心了。

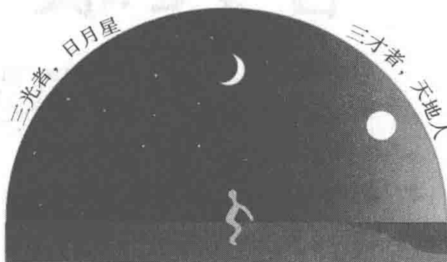


图 1-1　人类是认识宇宙的起点（其中的人形是中国篆字的"人"）

但是，在遥远的古代并不是这样，那时社会结构简单，文化原始，在古人心目中，他们面对的世界只有"天""地"这两大部分。可以设想：人类好像生存在一个巨大的蚌壳中。这个蚌的下壳为地，上壳为天，这两个"壳"是人类生存的依靠。而天作为地的对应物，占据了人类视野的一半。因此，在人类文明的第一页，天文学就占有显著地位，天文学家经常理直气壮地宣称：天文学是最古老的科学。我们还可以猜想：如果某星球上的智慧生物生活在行星封闭的洞穴中，靠地热之类生存，他们就不会产生天文学。

古人观察天空的日月星辰时，发现这些天体与他们的生活甚至生存有着某种特殊关系，于是开始有意识地观测天象。他们首先关心的是与昼夜交替、四时代谢有关的天象。天上最引人注意的是那两盏巨灯——日、月。日光给大地以温暖和光明，使草木周期性地繁茂(这可能是最早的"天"支配"地"的念头)；月光也可在夜间照明，以利人们夜间采集和狩猎。由此古人观念中出现了模糊的日长、月长、年长的概念。他们逐渐发现星星也不是可有可无的，利用星星也可以指示时

间和季节。另外，扰乱正常秩序的日食、月食、彗星、陨星等也令古人关注。那时尚无科学，古人也不知什么是"热爱科学"，他们的观测完全是出于生存的需要。比如，在刀耕火种的时代，春天如果播种得晚一点，可能一年都没有收成，生存需要迫使他们去寻找准确的播种时机。经过许多年的尝试，他们发现观测星象最能满足这一要求。顾炎武说："三代以上，人人皆知天文。"当然，此"天文"不是今天的天文学，可能仅是一些简单的星象知识而已，上古时人群间的交流极少，所以每人都需要掌握一些星象知识，以利用它们来看时刻、定时令、测方位等。再加上对有些自然现象的恐惧、对自身来历及去向的探求等种种需要，古人的生活就和星空密不可分了。

通过神话、传说的对比分析，后人发现各个原始民族对天地的观念基本上是一样的。古人都认为天是头顶上巨大的穹隆，地大致是平的，下面一定有什么东西支撑或托着。古人同时也开始寻求自身在宇宙天地中的地位。每个民族都认为自己是世界的中心，甚至极落后并且人数很少的民族也不例外，直到他们见到了文明程度更高的民族，这种观念才有所改变。（图 1-2）



古埃及人把它设想为天神铺撒的麦子；印加人则认为银河是金色的飞尘；爱斯基摩人凭生活经验说它是一条雪路；阿拉伯人和中国人把它比作天上的河流；博茨瓦那人的想象很奇特：认为银河是支撑着天的巨兽的脊梁；更有趣的是古希腊人，说它是天后赫拉流出的乳汁，西方至今仍称银河为 Milky Way。

图 1-2　银河是最能激发古人想象的天空现象之一

世界上最古的与天文学有关的遗留物当属埃及金字塔、亚述的石碑和英格兰巨石阵了。

尼罗河水积淀的文明——古埃及

非洲东北角的埃及因地处尼罗河下游而成为文明的摇篮。在尼罗河下游，河水每年在雨季上涨，淹没两岸大片的土地，从上游带来的肥沃的悬浮物沉淀下来，使这里的农耕者无需施肥就可收获累累，因此这里早早就孕育了发达的农耕文明。公元前 3100 年左右，埃及已经建立起中央集权的奴隶制国家。金字塔（图

1-3)是古埃及统治者——法老为自己修建的巨大陵墓,底座为正方形,严格吻合东、南、西、北四个方位,早期的金字塔方位精确到几度,后期则精确到几十分之一度。规模最大的金字塔——齐阿普斯金字塔北面有一条与地面成27°角的隧道,恰好指向天北极,通过隧道整夜可以看到当时的北极星——天龙座α。这些都表明了古埃及人在天文观测上的高超水平。


图1-3 金字塔

古埃及人为确定尼罗河水上涨的时间,掌握好播种的时机,创造出了精巧的历法。他们发现,当天空最亮的恒星——天狼星在黎明日出前出现在东方低低的天空中,然后又随日出渐渐隐去时(这叫"偕日升"),尼罗河水就开始上涨。因此,可于黎明前在东天及时寻找天狼星来确定河水泛滥的日子,以做好农事活动的准备。由此他们逐渐确定了一年的长度,并将其分为泛滥、播种、收获三个季节。古埃及人的一年分12个月,每月30天,12月的末尾再加上5天节日,共365天,这是现在我们使用的"公历"的前身。天狼星沿用至今的专名是"西里乌斯"(Sirius),天狼星偕日升时,正是炎热夏季的开始,埃及人认为这是天狼星的青白光与太阳光叠在一起造成的,Sirius就是"烧焦"的意思。天狼星在尼罗河水泛滥前的黎明升起,古埃及人由此想到是天狼星引起了尼罗河水泛滥也是合乎情理的,这促使了星占学的产生。

古埃及人已经会划分更小的时间单位,他们把昼和夜各分为12时,当然这个时的长度是随季节变化的,夏天的白天1小时很长,夜晚1小时则很短,到冬天又颠倒了过来。为了计量这人为划分的时间,古埃及人发明了漏壶,因为水流出后水位逐渐降低,流速会减慢,他们把漏壶设计成上大下小的形状,可以使水位降低的速度变成均匀的。

古埃及人的宇宙图像比较原始,一直到古埃及文明的后期,他们仍然是持这种观念:大地是平坦的,群山环抱,中间是海——地中海,周围的群山顶上有柱子支撑着天穹,星星像吊灯一样挂在天穹下。

十二星座的"发源地"——巴比伦

美索不达米亚平原位于今天的伊拉克境内,又称两河(幼发拉底河和底格里斯河)流域。由于两河每年泛滥沉淀,这里也是一块极其富庶的土地。与埃及不同的是,这里比较干旱,所以当地人很早就建立了灌溉网。从公元前19世纪起,

两河流域就出现了高度的文明，由于其地理环境无遮无拦，不断被外族入侵和统治，但其文明却一直被继承和延续。在尼尼微的废墟中发现的石碑，有发生于公元前一二千年（亚述人统治时期）的日食、月食记录和行星的运行记录。

巴比伦人在泥版上用楔形文字为我们留下了大量宝贵的天文史料（图 1-4）。巴比伦人很重视观测天体的运动，他们创造了将一周天分为 360 度的划分法，以及度以下为分、秒的 60 退位制，被西方天文学的主流继承，一直沿用至今。他们的历法与中国的农历很相似，以朔望月为 1 个月，1 年 12 个月，然后每几年插入 1 个月，使该年有了 13 个月，以便与回归年合拍。后来他们发现，在 19 年中插入 7 个月最为合拍，这一规则与中国农历的“19 年 7 闰”不谋而合。他们还有一件被现代天文学家经常提起的贡献——发现了“沙罗周期”，即日、月食发生后 18 年 11 天又 8 小时又会重复出现（“沙罗”即重复的意思）。



图 1-4　现存巴比伦人记载彗星出现的泥版，经考证，此彗星即哈雷彗星

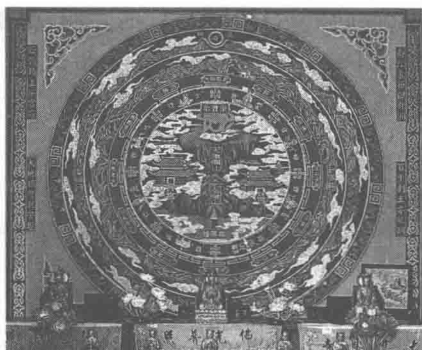
巴比伦人将天空的许多亮星连成一个个的图案，称为“星座”。不过那时的星座远不完备，最早定型的是迦勒底人提出来的“黄道十二宫”。由于太阳、月亮、五大行星都在黄道附近运行，迦勒底人把黄道划分成 12 等份（每份相当于 30°），各用所在的一个星座命名，这些星座就称为黄道星座或黄道十二宫。十二宫开始只是为了计量时间，相当于把一年划成 12 段，在每段时间里太阳进入一个星座。后来才发展到一个人出生时太阳正走到哪个星座，就说此人是这个星座的，然后又给各星座的人赋予了不同的性格和命运。在公元前 1000 年前后，大约已有了 30 个星座名，它们都成了西方星座的最早源头。

迦勒底人认为，大地中央是高山和大陆，四周是海洋，天穹是巨大半球，浮在大海上，天穹上住着神灵，太阳在天上、地下运行时都有专用通道。

超越时间——印度、玛雅和巨石阵

东方的另一个文明发祥地是印度，在公元前 10 世纪的吠陀前期开始，印度人就创制了阴阳历：他们以太阳视运动为依据，把一年定为 360 天，又按月亮的圆缺变化，定一个月为 30 天。显然，这样的历法有些粗糙。他们将黄道分成 27 等份，称“纳沙特拉”，意为“月站”，用以度量太阳、月亮的运动。他们的宇宙结构很特别，认为大地由四头大象驮着，大象则站在龟背上。佛教盛行后，认为须弥山在中

央，日月绕须弥山运动，不落在地下，这与中国的盖天说有些类似。(图 1-5)


图 1-5　印度时代佛教的宇宙观(我国唐代大慈恩寺制存)

印度次大陆的封闭环境产生了印度的特殊文化，使他们的思维很特别。比如，印度上古文献全无年代记载，现在要确切地断代极其困难，因为印度人几乎没有时间观念，他们认为超越时间是高贵的。他们只关心宇宙的"时"，不注重人间的时，认为遵守时间、按时赴约是不成熟的表现。据说，过去印度人约会经常迟到 1 小时甚至 10 小时，现在仍视火车晚点为正常，火车可等人，甚至可以招手停。


图 1-6　位于英格兰南部威尔特郡索尔兹伯里平原的巨石阵

提起史前的天文遗迹，不能不提到位于英格兰的古代巨石阵(图 1-6)。巨石阵是一处奇特而神秘的古代遗迹，可能建于公元前 2300 年左右。它不在东方的文明发祥地附近，而是位于当时属于蛮荒地带的欧洲西北边隅的大不列颠岛。考古学家认为巨石阵是岛上的先民为观测和标志天体升落方位而建的，比如，巨石阵主轴方向的台阶就正对着夏至日出方位，另一处则对着冬至日落方位。据研究，有的石块和坑穴可以用来预报日食、月食。小规模的巨石阵在英国还有多处。

有的文明，年代不一定很古，但也代表着较早期的文明，需在这里提及。最典型的是中美洲的玛雅文明。玛雅文明曾繁荣于墨西哥南部、危地马拉一带，在公元 3—9 世纪达到鼎盛。他们在 16 世纪西班牙人到达美洲之前，从来没有与旧大陆接触过，但其掌握的天文知识令人惊叹。玛雅人遗留的太阳金字塔和若干庙宇，实际是一组天文观测台，从金字塔顶向东方的庙宇望去，就是春分、秋分的日出方向，而夏至、冬至的日出方向，也都各有一座庙宇作为标志(图 1-7)。


图 1-7　现存的玛雅人古天文台

玛雅人对历法的关注更到了痴迷的程度，同时有 3 种历法并行：第一种属民用历法，用于农业耕种，以 365 天为 1 年，1 年 18 个月，每月 20 天，另有 5 个附加的凶日算第 19 个月；第二种用于记录历史，以 360 天为 1“顿”(tun，该历法有 9 级进位，“顿”是其中的一级)，用累计日数来表达日子，叫“长计历”；第三种历法用于星占、祭祀，1 年有 260 天，不分月，这个长度与金星的出现有关。

“长计历”将历史上某一天定义为“第一天”，之后是“第二天”“第三天”……顺序排下来，历法中每两天的日期都不会重复。因为这种历法会在公历 2012 年 12 月 21 日结束，所以就成了一度流传的“2012 年世界末日”的主要证据。(图 1-8)



图 1-8　现存的玛雅人日食表

据现代学者研究，玛雅人还有“黄道十三宫”等观念。不知为何，玛雅人的后裔放弃了文明，退居山林，现今仍然存世，但过着很古朴的生活。

再如，南美洲的印加人也有类似的太阳神庙。一些地面上挖出的壕沟，从空中俯视是向外辐射的直线，长达几英里(1 英里约合 1.609 千米)，有的直线准确指向太阳经过天顶那一天的日出方位，明显具有天文学意义，有人认为这是世界上最大的天文标志物。美国怀俄明州有印第安人用石块堆成的巨大“魔轮”，也标志出夏至太阳的升落方位以及几颗亮星的升落方位。

古代这些文明观测星象、制定历法，基本都是因为这些东西“有用”，即出于实际的需要(指导农业等)以及神秘的目的(占卜未来)。但从公元前10 世纪开始，一个与众不同的奇特文明出现了。他们也和其他文明一样探索天文，不过，在很大程度上他们的目光天真无邪，思考不带功利——这就是古希腊文明。古希腊人不知得自何处的灵感和动力，使他们为近代科学大厦的建成铺就了第一块奠基石，他们从不带功利的心态出发，却为人类带来了最大的功利。(图 1-9)

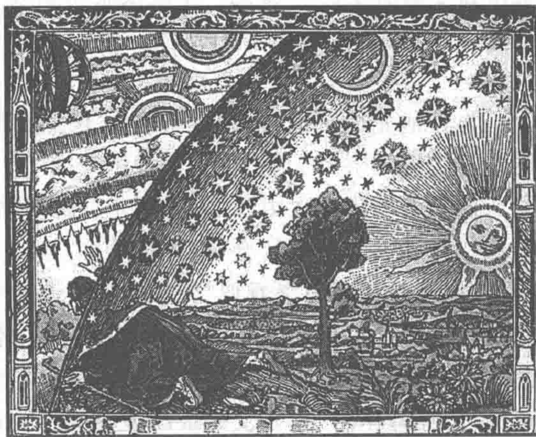


图 1-9　西方反映远古宇宙观的木刻：一个旅行者走到天地的尽头，撩开天幕，看到了天穹后天体运行复杂的驱动机构

二、从地平到地圆：古希腊天文学



古代各文明的先民们观测星象、制定历法以及进行星占活动，大都是迫于生存的压力，其目的仅止于知其然，只知描述观测结果，再附会上神话，并不试图对现象做解释，并不鼓励“玩物丧志”，把时光耗费在“无用”的对宇宙的思考中。古希腊人则不然。古希腊人带着一种超然心态无忧无虑地观察天象，他们冥思苦索，追求事物深层的解释，试图探索宇宙的本质。

所以说，古希腊人是世上最独特的群体，几乎可以用“怪癖”和“天真”来形容，据说古希腊学者希罗多德到埃及漫游，曾向埃及人询问尼罗河定期泛滥的原因，埃及人不知如何回答，因为他们从来没有思考过这个问题，但希罗多德对之很快就给出了四种解释。据说一个埃及祭司参观了雅典的帕特农神庙后，对执政官梭伦说：“希腊人，你们都是孩子！”

与其他先民一样，本来古希腊人不去探索宇宙的奥秘也一样活得充实，但他们希望活得更空灵一些，于是无意中开发了大自然百万年进化给人类的潜在的智力。这是人类第一次由“跟着感觉走”转向理性思维，由开发筋肉和器具转向开发智慧。直到进入现代社会，世人才明白，孩子般的古希腊人是世界上少有的伟大群体，那种观测和思考看似“无用”，其实是抱着最严肃的目的所进行的娱乐，要不是我们继承了古希腊的文明成就，现代社会不知要晚来多少年，欧洲可能还在中世纪的黑暗里徘徊，我们及我们的后代可能也还以“戴着乌纱帽，骑着小毛驴，观花赏月，吟诗作画”为人生的最高境界呢。也正是古希腊人理性思维的出现，诞生了宏大辉煌的古希腊天文学，出现了后人所称的“希腊人的奇迹”。

从公元前 10 世纪开始，古希腊人走出荒蛮。到公元前 800 年的荷马时代，古希腊人认为他们居住的陆地周围是海洋，太阳、日月星辰每晚落在海里熄灭并休息，第二天又醒来或重生。以后，逐渐有人意识到天体是从地下穿过，推测地下有隧道、走廊，或是由柱子支撑的“大厅”，最后终于认为大地是悬着的。

古希腊包括天文在内的学术中心曾有4次大的转移:小亚细亚——亚平宁半岛——希腊本土——埃及亚历山大,形成4个界限分明又有所继承的学派。

地平时代——爱奥尼亚学派


图1-10　米利都的泰勒斯

古希腊早期,智慧中心出现在小亚细亚的爱奥尼亚,称"爱奥尼亚学派",创立者为米利都的泰勒斯(Thales,公元前640—前560,图1-10)。爱奥尼亚经济繁荣、贸易发达、城邦政治制度比较自由,崇尚理性,又毗邻成熟的两河文明、埃及文明。从宽泛的意义上说,泰勒斯是人类历史上第一位科学家和哲学家,因为他首次试图用普通知识和推理法解释宇宙。他曾到埃及和两河流域去旅行和采风,将搜集到的科学知识介绍到祖国。据说他夜间走路时也痴迷地抬头观察着星空,以至于一脚踩空,跌到一个深坑里。邻里都笑他:"连脚边的坑都看不见,还想知道天呢!"他说:"你们当然不会跌到坑里了,因为你们本来就在坑里。"他认为万物起源于水,大地是浮在水上的一个圆盘,月亮发光是反射日光所致。

有一次,伊朗高原的米底王国进军小亚细亚,与吕底亚军队展开激战,一打就是五年,双方士兵大量阵亡,无数百姓流离失所,于是泰勒斯向交战双方宣布:"上天对这场战争十分厌恶,明天将用遮盖太阳的办法来向你们示警,若你们再不休战,将有大难临头。"双方都认为泰勒斯的警告是无稽之谈,谁也不理会。

第二天,两军又在对阵,激烈的厮杀一直持续到太阳偏西,阳光照射到战场上,闪现出一道道刀光剑影。忽然,士兵们发现,一个黑影闯入圆圆的日面,把太阳一点一点地吞食,炫目的太阳光盘逐渐减小,大地的亮度慢慢减弱,随即,太阳全被吞没,顿时天昏地暗,仿佛夜幕突然降临,一些亮星在昏暗的天空中闪烁着。士兵们从来没见过这种景象,顿时惊得目瞪口呆,在茫茫的"黑夜"中停止了厮杀。

虽然过了不久太阳就重新出现,但双方还是认为这是上天不满他们两国交战而发出的警告,泰勒斯是上天的代言人,双方的首领经过一番商讨以后,决定握手言和,签订了永久的和平契约。

根据史书记载的信息,现代天文学家推算出这次日食发生在公元前585年5月28日,并推测泰勒斯可能是使用古巴比伦人发现的沙罗周期来预报的。沙罗周期的预报是很粗糙的,很难定位,因此这次预报成功很侥幸。但今天很多学者仍然认为泰勒斯就是做出了精确的预报,于是进一步认为古希腊天文学诞生于公元前585年5月28日,或者干脆说人类科学诞生于公元前585年5月28日。

泰勒斯也是个奥运迷，可正是在举行奥运盛典的草地上，这个认为水是万物之本的哲学家不幸因腹泻脱水而死，用生命证实了自己的观点。

他的后继者、雅典的阿那克萨哥拉(Anaxagoras)也认为大地是圆盘，而太阳是与希腊大小相仿的红热石头，月亮则如雅典大小(图 1-11)。他提出日食是月亮遮住太阳的结果，月食则是月亮走进了大地的影子中。后来他被控告为无神论者，放逐于小亚细亚。另一位爱奥尼亚学派成员阿那克西曼德(Anaximander)则第一次提出天应该是球形的。他的根据是：天空连同天体都绕北极星旋转，以此推理，天应该是球形，我们看到的总是天的一半。他又认为大地是圆柱形，我们生活在这个圆柱一端的平面上。持原子论(不等于今天的“原子”)观点的学者德谟克利特(Democritus)也认为大地是圆盘，天是包围着大地的水晶球。

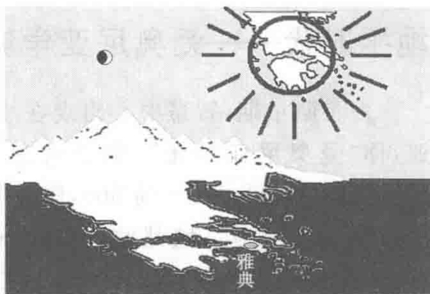
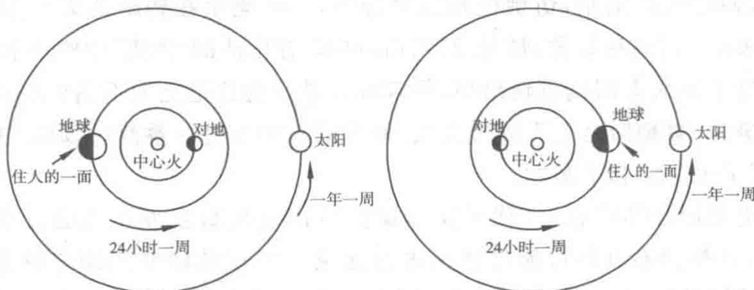


图 1-11　阿那克萨哥拉对太阳、月亮大小的猜测

地圆时代——毕达哥拉斯学派

公元前 5 世纪，“毕达哥拉斯学派”在亚平宁半岛南部出现，其创始人毕达哥拉斯(Pythagoras，公元前 560—前 490)以发现“毕达哥拉斯定理”(即勾股定理)而知名，他的观点是“万物皆数”，即整个宇宙就是数的和谐。他对人类更大的贡献是首次提出“大地是球形”的论断，并很快被希腊人公认。

该学派成员菲洛劳斯(Philolaus)随后又提出了一个新奇的模型，认为宇宙中心是一团炽热的火焰，太阳、月亮、五大行星、恒星、地球和“对地”都在不同的同心圆上围绕这团中心火运行。如图 1-12 所示，地球 24 小时绕中心火一周，并且一



其中假想的“对地”永远在中心火的另一面，所以即使人们走到地球对着中心火的一面，仍然看不到“对地”。

图 1-12　中心火体系

面永对着中心火。这是受月亮一面永对着地球这个现象启发而来的，表明古希腊人具备非常高超的类比能力。菲洛劳斯认为希腊在地球背着中心火的一面，所以希腊人永远看不见这团中心火。后来有人向东旅行，一直到印度也没有看到所谓的中心火，说明这个猜测是错误的。但他设想地球在运动，这在当时是非常大胆的。

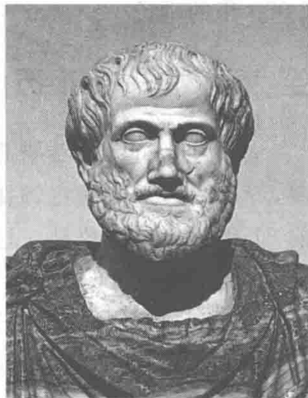
"地球"观念的出现是人类认识宇宙进程中一次质的飞跃。古希腊人不顾常识直觉、不管地球另一面对跖人（The Antipodeans，即地球两侧脚掌相对的人）头朝下的矛盾，抛弃了根深蒂固的上下观念，提出"大地是球形的"这一假设。而且承认这一点还意味着要否认自己的种族位于世界的中心，这正是伟大发现的起点。

拯救"现象"——柏拉图学派

在希腊本土，以雅典为中心的柏拉图学派是古希腊第三个大学派，这个学派为古希腊天文学的发展做出了承上启下的重大贡献。

由于中心火假设得不到观测的证实，柏拉图（Plato，公元前427—前347）在其宇宙模型中将中心火去掉，改为天体以地球为中心做环绕运动。因为行星运动看起来忽顺忽逆，忽快忽慢，为说明行星的复杂运动轨迹，他提出"拯救现象"观念，认为行星实际在做匀速圆周运动，我们看到的只是若干匀速圆周运动的合成现象。后来他的门徒欧多克斯（Eudoxus）为每个行星设计了若干球壳，它们互相套叠，外壳可带动内壳做附加运动。行星附在某一球壳上，通过每个球壳轴方向、旋转速度的选择，就可合成行星的逆行、留等视运动。由于行星固定在某一壳上，所以该行星到地球的距离永远不变。

早于希腊的"四大文明策源地"的先民们，探究天体运行使用的都是经验式的算术，从希腊人开始采用了几何方法，他们的"拯救现象"观念使人类对天体运行的掌握由思辨转向模拟，并进一步追问其模型的实在性，这是人类认识宇宙的又一个重要里程碑。


图 1-13　亚里士多德

柏拉图的另一门徒亚里士多德（Aristotle，公元前384—前322，图1-13）是古希腊最伟大的自然哲学家，他把欧多克斯的球壳体系发展成"水晶球模型"，认为这就是真实的宇宙结构，地球在宇宙的中心静止不动，其他星体在层层水晶壳的带动下绕地球转动。这个模型与人们见到的天体升落现象符合得相当好，几乎可以不证自明，所以一直被认为是人类智慧的高度表达。而中心火、地动的说法找不到任何证据，且

由于古人“天地对称”观念根深蒂固，如果大地在天上飞速运行，就成了天体，与常识不符，所以地动说逐渐被人放弃。

亚里士多德还令人信服地论证了大地是球形的。球形大地是毕达哥拉斯提出的，毕达哥拉斯的论据是：宇宙中最完美的形状是圆球，所以大地是球形。而亚里士多德则拿出了实证：发生月食时，无论月亮在哪个方向，大地的影子总是圆的，这说明大地是球形的。若地球是圆盘，其影子可能缩成椭圆甚至一条线（图 1-14）。其他证据是：旅行者向南走，会发现许多未曾见过的星座从南天升起，回头看北极星则更靠近地平线了；在海岸远望，远处驶来的船总是从海平面上先露出桅顶，再慢慢露出船身。毕达哥拉斯学派的后继者也承认这些论据才是最坚实有力的。

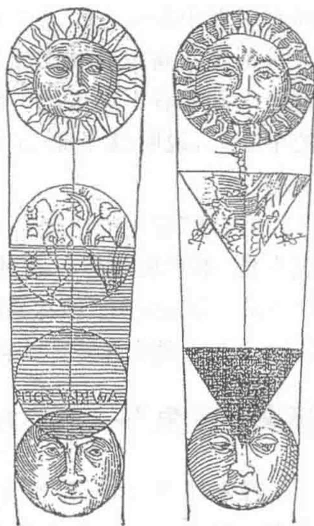


图 1-14　一幅说明大地是球形的西方木刻，从上到下依次是太阳、大地、地影、月亮

从亚里士多德开始，宇宙被明确地分为截然不同的两部分：月下和月上。月下世界指地球及其大气等，由土、水、气、火四大元素组成，万物有生有灭，一切都在变化；月上世界指天界，由轻盈、不朽的第五元素组成，天体与天球完美无缺，遵循永恒的法则。

许多古代科学不仅比枯燥的现代科学更有趣，而且也似乎更有道理。例如，亚里士多德认为土、水、气、火每种要素都有回到它自己自然家园的愿望，苹果从树上掉下来是因为它们想回到地球母亲的家，火焰向上腾起是因为它们想要回到天堂的家。现在看来，亚里士多德的理论是错误的，但它却是唯一被公认长达 2 000 年的理论。

至大无外——亚历山大学派

公元前 4 世纪，希腊北部的马其顿人迅速建立起来的亚历山大帝国又迅速崩溃，亚历山大手下的将领托勒密以埃及为中心建立起希腊化的托勒密王国，公元前 31 年后又属于罗马。这段时间埃及的亚历山大城成为希腊文化的中心，并诞生了群星璀璨的亚历山大学派。

历史上诸多民族都创造了自己的文明，但这些文明的特性都比较单一。只有当外来文明大规模地融入时，才可能带来文明发展的转折点。亚历山大学派就被认为是巴比伦文明和希腊文明“热恋”的结果，历史上这场偶然的机遇，造成了不

同文明的杂交优势，于是希腊天文学也到了最辉煌的时期。

生于小亚细亚的阿利斯塔克(Aristarchus)是一位见解独特的学者。他测定日地距离时发现，太阳比地球大得多(他的数据是 6.3—7.2 倍)，认为如此硕大的太阳不可能绕小小的地球运动。因此他反对亚里士多德的地心说，认为地球绕太阳运动。这是人类历史上最早的“日心说”。但还是由于“查无实据”(测不到恒星视差、地球需要自转等)，他的理论被当作不真实的臆测而被忽视。但他在测量地月距离、日地距离时所用的三角方法，开天体距离测量之先河，一直到近代仍被使用。

亚历山大图书馆的埃拉托色尼(Eratosthenes)进行了人类第一次地球子午线测量，他发现埃及南部的阿斯旺恰在北回归线上，每年一到夏至中午，太阳就直射头顶，阳光可照入井内，而同一天，在埃及北部的亚历山大，中午太阳却在头顶偏南，他经实测得出这个偏南角度是圆周的 1/50，这样，再通过丈量两地的距离，他算出地球周长是 25 万希腊里(图 1-15)。据说这个值恰好等于今天的 4 万千米，即完全吻合今天我们知道的地球周长值。但不能说希腊人的天文大地测量已达到如此高的精度，这里有巧合的成分，其数据换算也有争议。后来西方世界一千五百多年中公认的地球周长为 18 万希腊里，是别人用更精密的方法和仪器测得的，却比今天的实际值要小得多。

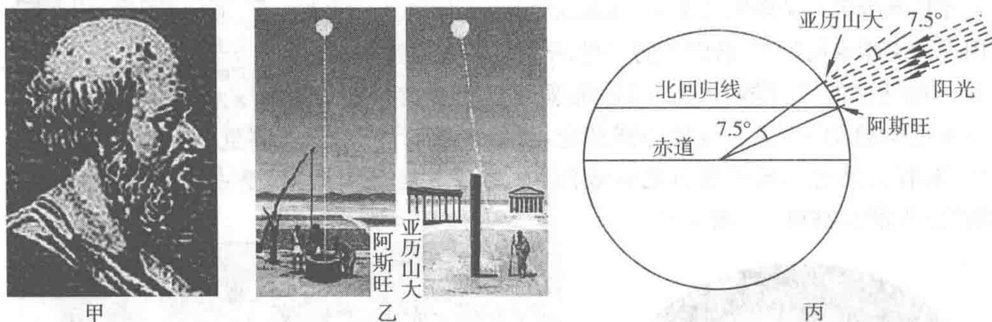


图 1-15　埃拉托色尼测地球周长

希腊人早就注意到行星的亮度有变化，说明它们与地球的距离可能在变化，月亮距离的变化更是明显的事实(导致日全食、环食的区别)，这对“水晶球”学说是不利的。为兼顾运动天体的复杂视运动和可能的距离改变，阿波罗尼(Apollonius)提出了本轮、均轮学说。他抛弃了亚里士多德互相嵌套的水晶球壳，改用以下体系：星体沿某一圆周——本轮运动，本轮中心再沿一圆周(均轮)绕地球运动。这样行星就会时远时近，其亮度的变化就顺理成章了。本轮、均轮学说解释星体运动更简单、直观、合理，一直被后人(包括哥白尼)采用。

古希腊在天文专项上做出最杰出贡献的当属公元前 2 世纪的伊巴谷(Hipp-


图 1-16 伊巴谷

archus，图 1-16），他是一位精于实践、精通观测的学者，多年居住在罗得岛从事天文观测，为古代天体测量学做了大量奠基性工作。他测得一年的长度为 365 又 1/4 天减去 1/300天；测得月亮的视差；详细记录并研究了一颗新星（伊巴谷新星），并为此编出了西方最早的、含有一千多颗恒星的星表；提出了恒星的 6 等级亮度分类法；首次发现岁差并测定为春分点沿赤道 100 年西移 1°（现代值是 70 年西移 1°）；绘制出极点投影地图；继本轮、均轮学说后他又提出了“偏心圆理论”，等等。由于这一系列的巨大贡献，他被后人尊称为“天文学之父”。


图 1-17 托勒密（注意头像上的王冠，这是古代画家把天文学家托勒密和埃及的统治者托勒密王弄混了）

但是，古希腊天文学家中名声最响的却是托勒密（Ptolemy，约公元 85—165，与托勒密王朝的创立者同姓，图 1-17），他是古希腊天文学的集大成者，其代表作《至大论》（《Almagest》）是总结当时世界各类科学知识的百科全书式的巨著，总结保留了古希腊天文学的主要成果，被广泛传抄，从希腊文转译到拉丁文，又译为阿拉伯文（全靠阿拉伯文，它才传到今天），又译回拉丁文。《至大论》上千年之久一直被用作天文学家的指南、航海者的手册、星占学家的必读书。

托勒密的宇宙体系（图 1-18）兼采亚里士多德地心、阿波罗尼本轮均轮、伊巴谷偏心圆理论，虽然复杂而烦琐，但在测量精确度不高的古代，解释天体视运动还是行之有效的，在理性上也令人满意，是古希腊人“拯救现象”思维的最高峰。（图 1-19）

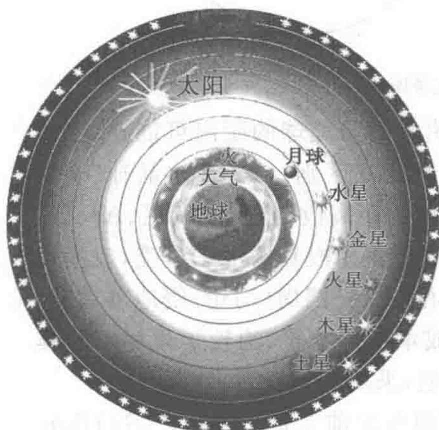
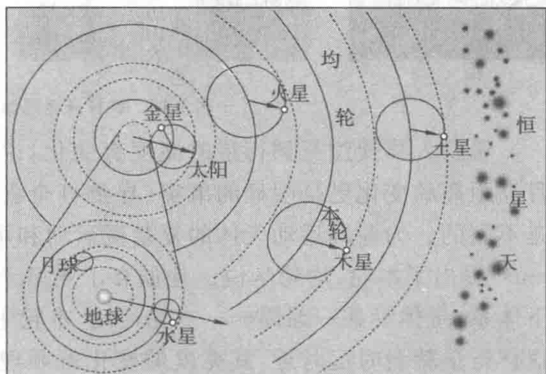


图 1-18 托勒密地心说示意图



以地球为圆心的实线是均轮，以均轮某一点为圆心的小圆是本轮。注意：图中带箭头的四条线永远处于平行状态，水星、金星本轮中心则永远在日地连线上。

图 1-19 托勒密地心说的行星运行机制

地心说在今天看来是很荒唐的，但在当时，人们认为地球环绕太阳疾行的同时自己又转动才是荒唐的，理由是：地球在高速转动，房子为何不倒？迎面为何无呼啸而来的狂风？射向头顶的箭为何又落回原处？恒星为何无视差？至于天为何可以转动，古希腊人解释说，天是由极轻的物质组成的，可以高速运转。倘若问宇宙是否“真”如此，古希腊人解释说：必须先回答“真”的含义。托勒密体系是古希腊逻辑演绎思维的产物，它准备被证伪，如果有更简单、更有效的体系代替它的话。

星座的划分也是古希腊人的一项重大贡献。在柏拉图时代，古希腊的星座体系就已基本成熟。古希腊人大量吸收两河流域文化的星座、神话等，并根据自己的传统、神话加以改造和补充。他们把星座想象成动物、人物或事物的形象，结合神话故事给它们起出适当的名字，在古希腊经典作家荷马、泰勒斯、欧多克斯、伊巴谷等人的著作中，就可以查到 46 个星座名，如荷马史诗中就提到了昴星团、毕星团、大熊、猎户、牧夫、天狼等。

托勒密综合了当时的星座划分，编制了 48 个星座。这 48 个星座基本包括了北方天空和赤道南北附近的较亮星群，被后人称作“托勒密星座”(图 1-20)。这些星座在天上构成了一个雄伟的阵势，都是古希腊神话中神灵的化身，具有各自的故事情节和象征性含义，成为制定现代国际通用星座的基础。



图 1-20　托勒密星座

儒略历——古罗马人的余光

希腊人的理性是人类的奇迹，但希腊人创造的科学文明又过于超前、超然，不断面临各种危机，亚历山大城置于罗马帝国统治之下后，科学精神逐渐衰落。罗马人过于务实，在科学上少有贡献。比如，后世的自来水是通过地下管道依据“倒

虹吸”原理送到各户的，罗马城当时也建立了遍布全城的自来水网，但全用高架水渠通到各家，因为罗马人只认准“水往低处流”。罗马人在天文历法上给我们留下的最重要的遗产是儒略历。

儒略历是罗马共和国独裁官儒略·恺撒(Julius Caesar)制订的，自公元前46年1月1日起施行，取代了罗马旧历。儒略历是纯粹的阳历，以回归年为基本单位，一年设12个月，单数月是大月31日，双数月是小月30日，但2月是29日，四年一闰，闰年于2月增加一日。这样，年平均长度为365.25日。儒略历编制使用后，因恺撒被刺，他的继承人屋大维发现恺撒是7月大月出生(7月的拉丁名即儒略)，而自己是8月小月出生，于是将8月改为大月(8月的拉丁名即屋大维的封号奥古斯都)，以后的9月、10月等依次改变了大、小月顺序，这样1年成了366天，于是又从2月减去1天，形成了现在仍沿用的规则。

由于实际回归年为365.242 2日，儒略历使用一千六百多年后，就已提前了整10天，1582年教皇格里高利十三世决定改革历法，经比较后采用了意大利医生利里奥的方案，从1582年10月4日开始扣除10天，也就是说1582年10月4日，人们入睡了，第二天一觉醒来已经是10月15日了。为避免长年累积，又规定以400年为单位，每400年中去掉儒略历多出的3天，具体做法是减少3个闰年，即每400年中逢百的世纪年中，不能被400整除的年份不闰，只有被400整除的年才是闰年。

虽然照此计算，过3 000年左右仍存在1天的误差，但这完全可以留给后代去解决了。修改后的历法称为“格里高利历”，就是现在世界通行的公历。

以后，罗马文化也走向衰退。公元3—4世纪，基督教兴起，基督教教义采纳希伯来落后的原始宇宙观，托勒密体系被当作异端邪说遭到禁止，直到13世纪。罗马帝国崩溃后，征服者已根本不知道希腊人创造的那些东西有什么用了，亚历山大城图书馆的藏书、手稿被当作燃料来烧热浴室的水，无数精美的大理石建筑雕刻和雕像被人们当作原料敲碎送入石灰窑去烧制石灰。

三、星占学：星星决定我们的命运吗

十二星座是青少年朋友十分感兴趣的话题，各种占星术在当今社会也是流传不衰，按说星占学不属于现代意义的天文学范畴，但在古代，天文与星占是同源的，一直有着千丝万缕的联系，所以我们拿出一章的篇幅来探讨星占学的起源、内容和本质。这需要从古人"天支配地"这种观念说起。

天支配地——古人牢不可破的观念

在人类各种族刚刚告别茹毛饮血的生活方式、开始迈进文明的门槛时，都不约而同地形成了这样一种观念：天支配地。

可以想象，远古的人类为衣食终日奔波在旷野上，他们的目光向遥远的地平线望去，视野的下面一半是地，上面一半是天。下面的一半，看得见，也可以走近，可以触摸，甚至可以改变；而上面的一半，也看得见，但无法走近，更无法触摸，它以及镶嵌其上的日、月、星辰永远不可企及地高悬在我们头上，显得那么神秘，那么庄严。直到今天，天文学在人们心目中依然是个神秘的学科，还是因为它研究的对象只能遥望，不能触手可得。

古人很早就发现，地上的白天黑夜、四季更替是完全由上天支配的，还有地上的雨雪风霜、水旱丰歉也是由上天支配的。那么，其他因果关系不那么明显的事件是不是也是上天支配的呢？古埃及人看到天狼星偕日升，尼罗河水就上涨了，就会联想到尼罗河涨水是天狼星作用导致的——这可能是星占学的最早源头，即把大地上无法解释的事归结为上天的支配。（图 1-21）



图 1-21　远古人与星空

那么,人间社会呢?大到王国的战争、兴衰,小到个人的命运、荣辱,千变万化,令人不解,一定也是冥冥中有一只看不见的手在操纵,古人把这只看不见的手也定位在“上天”,相信是日、月、星辰,或上帝通过日、月、星辰来左右着世间万物,因此古人观测天空、星象,目的之一就是想了解日、月、星辰是怎样左右世间万物的。

这样,逐渐就形成了一种“行当”:利用天象的变化来对人间的事物和个人的命运进行预测,这就是占星术。

最早从事星占活动的是古巴比伦人,他们明确认为天体是神,天体能够影响、主宰人间的事物。巴比伦有一群专门从事观天的星占家,时刻关注着天上的一举一动,发现不同寻常的天象时就要做出解释和预测,让国王和民众提前做好准备。经过几十代星占家们的观察、记录和诠释,形成了一系列的占辞表。

比如说,他们留有这样的占辞:“月亮从地平线升上来时出生的孩子,成长过程会一帆风顺,而且长寿”,“孩子如果是在火星从地平线升起时出生,那么他将染上疾病,以夭折告终”,“如果某个男孩在金星从地平线升起、木星沉入地平线时出生,那么他的妻子将比他本人高明”,等等。

古希腊时代情况有些不同,绝大多数古希腊学者对星占学都不感兴趣,而是致力于从自然界本身来解释自然现象。到了罗马帝国时代,星占学开始盛行,恺撒大帝的继承人屋大维(即奥古斯都),就笃信星占学。天文学家托勒密实际是罗马帝国公民,他还是一位星占学大师,所著的《四书》被后人视为西方星占学的圣经,书中列出的一幅算命天宫图成了以后上千年西方算命天宫图的标准模式。

欧洲进入中世纪后,星占学传播得更为广泛,星占学家宣称,只要知道了一个人出生时太阳、月亮、行星所在的黄道宫,他一生的吉凶祸福都可以由星占学推算出来。

直到文艺复兴时代,星占学仍然居于主流,天文学家开普勒也是个大星占家,他写的《论新星》中对他观测的超新星有大量的星占学解释。

德国伟大的诗人歌德(W. Goethe)是一位对自然科学非常感兴趣的学者,对占星术也是抱宽容的态度。他在1789年写给好友席勒的一封信中的话,可以看作西方近代对“天支配地”观念的理解。他这样写道:

> 经验告诉我们,距我们甚近的星体会对地球上的气候、植物生长等产生决定性的影响,而且这种影响无所不在。天文学家发现,某个星体或一些星体的作用随处可见,哲学家也不否认来自最遥远的星体的作用。……我不想把这种幻想称为迷信什么的,因为这种幻想类似某种信仰,而且就在我们身旁。正因为它并非一无可取,所以我认为取谅解和宽容的态度为宜。

记得中国有一位作者写过自己幼年时的一段经历，从中也可以看出中国人过去对“天支配地”观念的理解：

在我小的时候，有一年持续大旱，突然传闻是月七日，玉帝将开南天门“视察”人间，于是大家被告诫，当日不生烟火，玉帝必能查知人间旱情严重，赐予甘露。是日，家家户户无不响应，整日不生火做饭，任由孩子饥饿哭泣。后来好像旱情也确实得到控制。农民靠天吃饭，走投无路，试试又何妨？在那期间还有烧山火的做法，天之不公，于山顶架柴烧天，逼天降雨。顺从和征服都用上了，灵验与否，并不重要，重要的是努力去实现，总比坐着无期地等待要强得多。

生辰星占学——出生时的天象决定命运吗

生辰星占学是西方星占学的主流，西方宿命论思想认为，人一生的命运在他降生的一瞬间，甚至在母体内受胎的一瞬间就已经注定了。

通过前文举的例子我们已经知道，古巴比伦人是用一个人出生时，哪颗行星从地平线升起，哪颗行星从地平线落下等来判断此人一生命运的。这要经过烦琐的推算，那时的占星师都是天文学家，肯定也擅长数学推算，但即使对他们来说，推算给定时刻行星在地平线上的位置也不是件容易的事情。所以，托勒密放弃了这种方法，而是在他的地心体系中直接标出日、月、行星的位置，星空背景则以黄道十二宫（图1-22）为标准，这就是“算命天宫图”（图1-23）。根据被测人的生日，就可以推出他出生这天的日、月、行星在黄道十二宫上的位置，从而该人的健康状况、性格特点、气质、财运、寿数、婚恋、后代等等就都可以推算出来了。这种占星术规则一直沿用下来。在中世纪占星术的全盛时期，每年发行的年历上都要在每天的天宫图上标出日月五星的位置。



图1-22　黄道十二宫

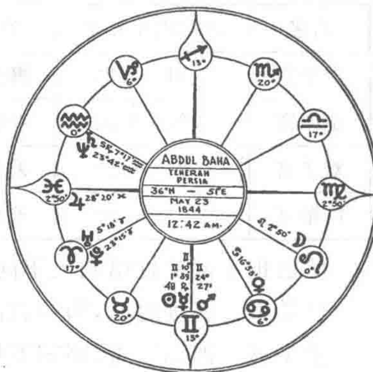


图1-23　西方的算命天宫图

歌德在他的自传中淋漓尽致地写了他出生时天象对他的影响：

1749年8月28日的正午，伴随着十二声钟鸣，我出生于法兰克福。我的星辰是幸运的。当时太阳正在处女宫，由于是白天，它升到了最高点。木星和金星向太阳示以慈祥，水星也和蔼可亲。土星和火星则显得漠不关心，只有一轮满月，为了踏进它的行星时刻，凭着它的力量做着徒劳无益的努力。为了对抗我的降生，月亮等待着时间的流逝，但未能得逞。这些良好的天象，后来成了占星家们对我做出相当高评价的事实。这也许是我生命得以延续的原因，因为由于产婆手法欠佳，我出生时几乎死掉。

现在，生辰星占学在西方仍然很热。西方报刊上，“每日星命”“每周星命”都是热门栏目，因特网上各种算命网站、软件层出不穷，电脑推算代替了过去的星盘和图表，也显得更“科学”了。生辰星占学是一个复杂而庞大的体系，短短几页篇幅很难讲清，所以这里我们只介绍一个它的小侧面，也就是青少年朋友感兴趣的黄道十二宫。

黄道十二宫是一种“月生肖”，按太阳在星空中的位置，把十二宫平均分配在一年中，每个人根据自己的出生日期都可以归入某一宫（就像我们传统的以12年为周期的十二属相一样），而每一宫的人都有其特定的性格特征，这些性格特征就会导致他特定的命运和未来。

黄道十二宫的顺序与黄道十二星座一样，但不牵涉具体星座，只表示太阳在黄道上的位置，从春分点算起是白羊宫，依次类推，每宫30°，太阳进入每一宫的时间基本上是固定的，与中国的二十四节气位置一样。表1-1是出生日期与十二宫的对应：

表1-1 出生日期与十二宫的对应

宫名	对应出生日期	宫名	对应出生日期	宫名	对应出生日期
白羊宫	3.21—4.20	狮子宫	7.21—8.21	人马宫	11.21—12.20
金牛宫	4.21—5.20	室女宫	8.22—9.22	摩羯宫	12.21—1.19
双子宫	5.21—6.20	天秤宫	9.23—10.22	宝瓶宫	1.20—2.18
巨蟹宫	6.21—7.20	天蝎宫	10.23—11.20	双鱼宫	2.19—3.20

然后把不同的性格归入不同的宫：

白羊宫—高度容忍，勇往直前，有开拓和侵略精神。

金牛宫—温和沉着，坚韧不拔，幽默风趣，有占有欲和艺术气质。

双子宫—敏感好奇，机智善辩，有谋略。

巨蟹宫—感情丰富，内向谦恭，是传统和带有防卫意识的人。

狮子宫—正直威严，热衷权力，自信而善于表现自我。

室女宫—勤勉务实，富于批判精神，有浓厚的道德观念。

天秤宫—稳健理智，善于协调，讲求逻辑和策略。

天蝎宫—个性冲动，见解独到，爱憎分明，创新欲望强烈。

人马宫—率直开朗，理想主义，热爱自由，追求精神生活。

摩羯宫—充满智慧，严谨踏实，有保守性和持之以恒的精神。

宝瓶宫—个性独立，执着而前卫，有自由和造反的倾向。

双鱼宫—诗人气质，远离世俗，同情弱者，有献身精神。

根据表1-1，你的生日在哪个时间段里，就可查出你属于哪一宫，再由上面的归类就可查出你的性格和命运，妙不妙？哪个人不想在这个离奇变幻的世界中抓住机遇、掌握命运？如果星座算命能满足我们的这个需要，何不马上试一试？（图1-24、图1-25）



图1-24　西方的星命图案

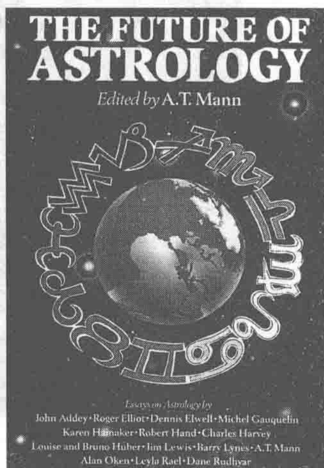


图1-25　西方的星占书封面

不过真正操作起来，结论常常是模棱两可的，从现代科学的角度来看，天象与人事之间没有逻辑的、物理的联系，我们看不出行星在天空中的位置排列会对人类活动产生什么样的明显影响。历史上很多星占学预言似乎成功，其实是一种社会和群体的心理学效应，也就是所谓的"信则灵"。十二宫对应的性格，我们查一查自己属于哪一宫，推演一下，玩玩倒可以，只是不能太当真，因为很多对照显然是望文生义的，狮子是百兽之王，当然"热衷权力"，蝎子好蜇人，属于"个性冲动"，老黄牛就"坚韧不拔"，等等。如果你属于"室女宫"，怎么办？室女宫的人"富于批判精神"，应该是不会轻易相信星座算命的。

中国版的生辰星占学即"八字算命"，古已有之，流传至今。它与西方的生辰

星占学异曲同工，只是不借助真实星象，只是用人出生时的年、月、日、时的天干地支八个字，再配上五行六爻、九星四柱、称骨看相，就可推出一个人的未来。算命者还可以与被测者直接交流，通过经验和察言观色，使预测更加“准确”。

民间流传有一首诗是说风水先生的，用于算命先生（图 1-26）也完全可以：

风水先生贯说空，指南指北指西东。

世间若有封侯地，何不寻来葬乃翁？

“乃翁”就是“你爹”，说世上若真有让后代封侯的宝地，你何不寻来埋你的老爹，你岂不就大发了，何必过现在的混饭日子呢？



图 1-26　中国街头的算命先生

当然，西方的占星术与东方的算命术不同之处在于：生辰星占学有一半的操作是以天体位置的推算为基础的，也就是说占星术的判断依据完全服从于精确的天象推算。天象预报是完全可能的，天体现象必然发生的信念也因此把人们的宇宙观导向了一种宿命论。所以，生辰星占学是与天文学一起发展起来的，占星术对促进天文学研究有着重大的贡献，下一节我们要专门谈论这一话题。

天文学与星占学——对垒的双子座

在古代绝大多数民族中，天文和星占是分不开的。除了古希腊人有“探求宇宙奥秘”的动机外，其他民族观测天象的目的不外是制定历法（确定播种的日期）。航海和旅行时确定方位（避免迷航），再就是根据天象预卜人间事件，并没有现在

的"天文学"和"星占学"的界限。古代天文和星占是互相促进的，占星术的需要使人们更精密、更勤奋地去观测、记录天象，这就为制定更精密的历法、理解宇宙提供了条件；反过来，天文知识的积累也为星占学准备了素材。如果非要把"天文学"和"星占学"分开的话，也只能说它们是一对"同卵双胞胎"。

要了解古代和中世纪的天文学史，离开占星术是寸步难行的，截至17世纪的天文学史，几乎同时就是占星术发展史，星占家和天文学家是同一种人。中国战国时的天文学家甘德，其著作题目就叫《天文星占》，像中国历史上的张衡、李淳风、一行这些大天文学家都是大星占家；西方的大天文学家托勒密、第谷、开普勒等，也都是大星占家。

星占家推算天体位置时需要进行精密的测量和计算，这就决定了他们所使用的一些方法必须是科学的。星占家掌握着相当丰富的天文学知识，尤其是天体运行方面的知识，这是星占活动必不可少的工具。今天的星占家可以很容易地算出前后各一万年的天宫图，使用的天文数据也来自权威的天文机构。

当然，星占术的反对者也一直存在，莎士比亚在其历史剧《儒略·恺撒》中，借人物凯西斯之口说过这样的话："人有时是能决定自己的命运的，如果我们错了，那错处不在我们的星宿，而在于我们自己，因为我们是任人驱使的奴隶。"

从伽利略时代起，人类终于逐渐掌握了世界上最简单的一种规律——天体运行的规律。在开普勒发现了行星运行三大定律、牛顿力学建立之后，人们认识到：天体运行是有其自己的规律的，这规律已被人们掌握，而且这些运行规律与人间事物扯不上对应关系。从此，天文学与星占学就一步步分道扬镳了。近代天文学家认为，所谓星占的观念，就跟术士或祭司剖开一只鸟的内脏，数其中的谷粒预言某人命运的做法一样，是一些不足道的东西。

到现在，天文学与星占学这一对同卵双胞胎已经成了两个对立的阵营。一面，是根据实测和实验，按严密的逻辑推理，通过特有的合理方法，经过无数次实践检验构成的庞大学科体系，主流话语称之为"科学"；另一面，是根据先验的定义和法则，按可以灵活解释的种种途径，构成一种让人盲目相信、"心诚则灵"的预测手段，主流话语称之为"迷信"。

天文学与星占学还有一个重大的区别：几百年来，天文学在一天天走向进步，但星占术还是几百年前的星占术，很少听说星占术也在走向进步，顶多贴上些现代的标签而已（如跟着引进冥王星又跟着开除冥王星之类）。按科学的观点看，西方的星座、生辰影响命运说，以及中国的算命等活动，都是难以证实的。

那么，现在星占术、星座预测、算命等等为什么仍然大行其道？原因很简单，

它们的效用的确是难以证实的，但常常也是难以证伪的。星占术永远不会去预测星体位置（这已是“科学”了），而是用这些天象去预测人类和社会的命运。虽然天文学家证实了天上的星星不会影响人类和社会的命运，但我们仍然不知道人类和社会的命运是谁影响和决定的，现代科学还远远没有解决这些问题，当今的社会学、心理学、行为科学都还发展得不够（相当于力学的前牛顿时代），在纷繁复杂的社会人生面前处理能力极其有限，所以人们只好仍然返回来求助星占术。

当然，科学家对星占术仍然不屑一顾。因为从上述意义上说，它对人们的确是有些用途，但也正因为它既难以证实又难以证伪的特性，它的效用是不会改善的。

上节列的黄道十二宫把各宫与人的性格对应得言之凿凿，我们真希望人们的性格、气质、行为方式以及由此导致的未来命运，真像表 1-1 那样可以如此简单地对应到十二宫中，用一个出生日期一查就明了。不过，人的精神世界、社会人生这样复杂的系统，不可能用这么简单的一套表格就解决了的。十二宫与人性格的对号入座，只反映了人们想“找到精神宇宙运行规律”这样一种善良愿望，而其方法是根本不可靠的。

所以说，要想从光怪陆离的宇宙、社会、人生、性格、命运中理出一些头绪来，不如关注一下社会学、生理学、心理学、行为科学、心灵学等等的最新进展，有一大批自然和社会科学家在这些领域里辛勤研究——格物致知，每年都有鼓舞人心的新发现、新理论、新假说问世，虽然离这些领域的“牛顿时代”的到来还有相当的距离，但毕竟每天都在走向进步和改善，这比在星占和算命中兜圈子要有意义得多。

四、古希腊到近代的“二传手”：阿拉伯天文学



古希腊一罗马文明被异族征服后，走向衰退，几乎要被人们遗忘。那么，近代科学的源头——古希腊科学是怎么延续下来的呢？原来，古希腊科学思想在中世纪并没有销声匿迹，而是被阿拉伯人继承，是他们，作为从古希腊到近代的“二传手”，把奥林匹斯山下的文明火种传到今天。

从西到东，火炬接力

古希腊文明衰落后，欧洲社会进入长达一千多年的黑暗停滞时期。托勒密学说受禁，基督教教义采纳希伯来人落后的原始宇宙观，其天地模型是一个四方的盒状结构。教会认为天堂比天文重要得多，称科学企图窥测属于全能的上帝范畴内的神圣事物，分明是人类妄自尊大的表现。其中公元 5－10 世纪是最黑暗时期，1054 年闪耀在天空的超新星，因其与《圣经》无关，所以根本无人注意。

但幸运的是，古希腊文明时期的部分典籍还是在寺院里保存了下来，成为阿拉伯人发掘的宝库。

阿拉伯人是闪米特人的一支。闪米特人曾一次次地在世界史上扮演重要角色（如亚述人、巴比伦人、腓尼基人等）。公元 7 世纪，阿拉伯部族登上历史舞台。在先知穆罕默德（Muhammad）创立的伊斯兰教的号召之下，阿拉伯人在不到一个世纪里，就扩张到了小亚细亚、北非和西班牙，威胁着欧洲的基督教世界，导致了两大文化对垒的“十字架与新月之争”。从世界文学名著《一千零一夜》中，可折射出产生这部名著的国度的兴旺、统治者的奢华和民众的智慧。

阿拉伯人在势力扩张的同时，也突然展现出对科学尤其是天文学的浓厚兴趣。他们在基督教的寺院里发现了大量尘封多年、被人遗忘的希腊文手稿，包括从亚里士多德的著作到托勒密的《至大论》，其中所展示的思想和观念虽然遥远，但神圣而亲切，让他们爱不释手。于是阿拉伯人掀起译书热潮，上万卷希腊文手

稿被译成阿拉伯文，其中的科学内容被好学的阿拉伯人大量吸收。古希腊文明的火种没有熄灭，而是在阿拉伯人手里继续燃烧，并将其传向后世。

阿拉伯的历法是他们自创的，叫“希吉来历”(图 1-27)，我们称之为“回历”。它是一种太阴历，即“管月不管年”的历法。它严格以 1 个朔望月长度为 1 个月长，严格以 12 个朔望月为 1 年，1、3、5、7、9、11 月固定为 29 天，2、4、6、8、10、12 月为 30 天，但每过约 3 年在这年的年底加一天，称闰年，以保持月长与实际朔望月长度(29.530 6 天)大体相等，闰年的年份是固定好的，以 30 年为一周期，共加 11 天。每月月首的确定不是像我们农历那样在朔日，而是在看到新月出现的那一天，相当于我们的初二或初三。希吉来历纪元从公元 622 年 7 月 16 日(这一天穆罕默德率穆斯林从麦加迁到麦地那)开始算起。



图 1-27　希吉来历历谱

因其不照顾回归年，12 个朔望月仅 354 或 355 日，一年比公历的一年短约 11 天，所以希吉来历的年经过 16－17 年后寒暑颠倒、冬夏易位，再过这么多年则又复位，但总年数比公历多了一年。这并不是阿拉伯人天文观测或推算得不精确，而是历法规则造成的，自从继承了古希腊天文学的传统并制造了更精密的仪器之后，阿拉伯人的天象观测和历法推算都到了相当高的水准，从月的精度来看，希吉来历从开始使用到现在的 1 400 年间，朔日时刻仅比实际时刻落后半天，其精度比儒略历高得多，与现在通用的格里高利历相仿。只是因为增加闰月违反穆罕默德的教义，希吉来历才保持其纯太阴历状态，一直延续到今天。

在当时的阿拉伯世界(后来也包括拉丁世界)，有一种叫“星盘”(图 1-28)的仪器非常流行。它有点类似于今天的活动星图，一般由黄铜制成，底盘刻有恒显圈以北的天球赤道坐标网，以及观测者纬度上的地平经纬网，细细的刻度密密麻麻，用以标志星体的两种坐标；上盘是星盘，几乎被镂空，只剩下少数亮星的位置和黄道，目的是不要过多遮住底盘的坐标网，亮星的位置用一些扭曲尖角的尖端表示。它可用来根据太阳、星体的位


图 1-28　星盘

置测定时间，也可根据已知的时间推测某星体的位置等。那时，星盘是旅行者的测时怀表、天文家的基本装备、星占家的推算法宝。

伊斯兰世界的天文台和天文仪器都曾达到很先进的程度，较著名的有位于伊朗北部的马拉盖天文台，建于公元 1259 年，装备有半径 4 米多的墙象限仪、一座直径约 3 米的浑仪等。还有乌鲁-伯格天文台(图 1-29)，位于今乌兹别克斯坦境内，乌鲁-伯格(Ulugh Beg)是帖木儿大帝的孙子，后来继承了王位，他本人就是一位博学的天文学家，他建的天文台分三层，其中一架巨大的六分仪半径竟超过了 40 m。伊斯兰世界的天文观测和记录常常是某个统治者个人的行为，总是伴随着该统治者的去世而衰退，其兴盛没有超过 30 年的。这一点无法与中国相比，因为中国即使改朝换代，天文观测和记录也依然延续。

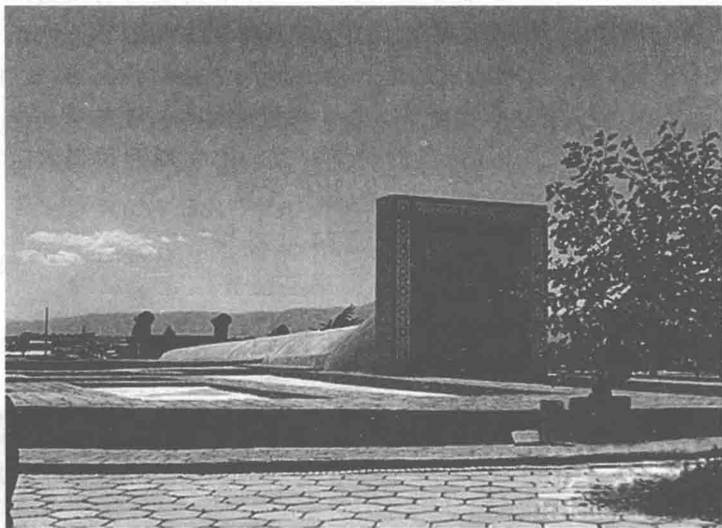


图 1-29　乌鲁-伯格天文台遗址

乌鲁-伯格为什么造这么大的仪器？他认为，仪器尺度越大，测量精度也就越高。其实这种正比关系是有限度的，因为仪器尺度越大，变形也就越严重，晃动也会加剧，反而影响了测量精度。

乌鲁-伯格这位帝王天文学家对一千多颗恒星做了长期观测，并根据所观测的数据编成《新古拉干历数书》，这是继托勒密之后出现的第一种独立的星表。他还是一位星占家，据传他从占卜星象得知自己将被自己的儿子杀害，于是他决定先下手，将其远远流放。不料这一举措激怒了他的儿子，于是他的儿子发动叛变，真的杀死了他。

由东到西，折回欧洲

阿拉伯人的智慧主要体现在他们对希腊人天文学成果的大量学习和继承上，真正突破性的创造并不多，主要贡献包括天文观测精度的提高和计算技术的完善等。按地理位置也是按年代，阿拉伯天文学可分为东、中、西三大学派。

1. 巴格达学派

巴格达学派在阿拉伯世界的东部，以巴格达为中心，除继承古希腊天文学外，受巴比伦、波斯和印度的天文学影响很深。阿尔-巴塔尼是阿拉伯最伟大的天文学家（Al Battani，公元 858—929），他通过观测，修正了托勒密《至大论》中的不少数据，所确定的回归年长度非常准确，成为 700 年后格里高利改历的基本依据。他最杰出的贡献是发现了太阳远地点的进动（地球绕太阳公转的轨道是个椭圆，受木星等大行星的影响，地球轨道的远日点逐渐向东移动。比如，现在每年 7 月 5 日地球过远日点，但在 1 000 年前是 7 月 2 日过远日点）；他的著作全集《萨比历数书》（The Sabian Zij，又译为《论星的科学》）是一部实用性很强的巨著，对后来欧洲天文学的发展有深远的影响。

巴格达学派的另一位重要人物是阿尔-苏菲（Al-Sufi），他对星图、星座极有研究，有《恒星星座书》传世，书中绘有精美的星图，不少恒星的星等比以前有所改进（图 1-30）。他为许多恒星起的专名，如 Aldebaran（中文名“毕宿五”）、Altair（中文名“河鼓二”）、Deneb（中文名“天津四”）等，一直沿用至今。但他对恒星坐标位置不太关心，因为他常埋头书本而疏于观测，据说 1054 年出现在金牛座的超新星他都没有注意到。



图 1-30　阿尔-苏菲的英仙座星图，人物造型完全阿拉伯化了

阿拉伯人影响现代天文学的一个重大痕迹是，在各种欧洲语言中，大多数星的名称都来源于阿拉伯语，例如 Acrab（蝎子）、Algedi（小山羊）、Altair（飞鸟）、Deneb（尾巴）、Pherkad（牛犊）等，而且大量的天文学术语，如 azimuth（地平经度）、nadir（天底）、zenith（天顶）等，都来自阿拉伯语。

2. 开罗学派

公元 909—1171 年，北非的埃及、突尼斯一带出现一个强盛的伊斯兰国

家——法提玛王朝(绿衣大食),建都开罗后,形成了开罗学派。它是稍晚一些的学派,活跃在阿拉伯世界的中部,以开罗为中心。其中最著名的人物是伊本-尤努斯(Ibn Yunus),他从公元977年到1003年做了长达26年的观测,在此基础上编撰了《哈基姆历数书》,不但有观测数据,而且有计算的理论和方法,用正射投影和极射投影的方法解决了许多三角学的问题。他的日、月食观测记录为近代天文学研究月亮的长期加速度运动提供了宝贵资料。

3. 西阿拉伯学派

这个学派于公元11—13世纪活跃在西班牙地区,早期的阿尔-扎卡里(Al-Zarqali)测出太阳的远地点相对于恒星的移动是每年12″.04(真实值为11″.8),以及黄赤交角在23°33′和23°53′之间来回变化,有《恒星运动论》《星盘》等专著多种,他最重要的贡献是1080年主持完成的《托莱多历表》,在欧洲使用了许多年,1252年才为《阿尔方索表》所代替。

在西班牙,欧洲基督教世界终于阻遏了北非阿拉伯世界的继续扩张。同时,欧洲基督教世界的天文学家们开始接触到阿拉伯世界掌握的天文学知识,他们中的有识之士为《至大论》等天文著作的博大精深而震惊,因为近千年来他们使用的天文学模型、运用的天文学知识实在是太原始了,他们简直不相信1 000年前欧洲的土地上还曾产生过这么高深的天文学工具,于是新一轮的翻译热潮开始,许多阿拉伯文、波斯文或土耳其文的古希腊经典又纷纷被译成拉丁文。西班牙国王阿尔方索十世(Alphonso X,公元1223—1284)本人信奉基督教,但他是一位阿拉伯天文学家的学生,因此特别热衷于将阿拉伯天文学传入欧洲。他主编的《天文学全集》共五大卷,收录了阿拉伯世界几乎全部的天文知识,图文并茂。由他召集犹太、阿拉伯天文学家编制的《阿尔方索表》在欧洲风行一时。

就这样,阿拉伯人充当了古希腊天文学与近代天文学的“二传手”。古希腊天文学这条一度浩浩荡荡的大河曾几乎断流,但幸运的是,它又在阿拉伯的沃野上吸收了足够的水分,再折回欧洲,成为近代天文学的直接源头,欧洲天文学将要复兴了。

但奇怪得很,阿拉伯人却从此止步不前了。随着时光的流逝,他们在天文学上的辉煌也成了过去。他们为何失去了这些优势?是否他们的历史使命就是充当一下“二传手”?没人能说出确切原因来。虽然时至今日阿拉伯人在世界仍占有较重要的位置,但那主要是因为他们的土地上有丰富的石油。他们试图寻回“阿拉伯之梦”,但那些靠石油暴富的酋长们除了物质生活的富有之外,却没有表现出有大展宏图的迹象。当然,历史上曾出现的,可能会再现。也许在将来,闪米特人会再次对现代文明造成新的冲击。

五、世界天文学园林中的一束奇葩：中国传统天文学



在古代各文明社会的天文学结构中，中国的天文学是最独特的。西方人撰写的一部又一部天文学史著作中，对中国古代天文学的叙述时常是少之又少，其表现似乎是一种轻视态度，实际上，真实原因是他们对中国传统文化的整个背景不了解。本书限于篇幅，也无法全面展开介绍中国传统天文学，只能从中国传统天文学的科学成就、以军国星占为中心的中国传统天文学原生态以及中国传统天文学与人文和社会的紧密关系三方面介绍，让读者大致了解。

司天观象　敬授民时——中国传统天文学成就

中国的天文记载可以追溯到 4 500 年以前，农业社会的需要产生了早期的历法，并发展起了星象知识。至战国秦汉期间(公元前 475—公元 220)就已形成了以历法和天象占测为中心的完整而富有特色的天文体系。这个体系与古希腊天文学迥然不同，与另外“三大文明策源地”的天文学也差别甚大，尤其是中华文明绵延 4 000 年至今不曾间断(这在世界文明史上是独一无二的)，由此产生的天文体系的绵延也一以贯之，韧性极强。

法国哲学家伏尔泰曾这样评价中国古代天文学：“中国人把天上的历史同地上的历史结合起来了。在所有民族中，只有他们始终以日月食、行星会合来标志年代。我们的天文学家核对了他们的计算，惊奇地发现这些计算差不多都准确无误。其他民族虚构寓意神话，而中国人则手中拿着毛笔和测天仪撰写他们的历史，其朴实无华，在亚洲其他地方尚无先例。”他这是用西方人的眼光对中国古代天文学成就的高度赞扬，本节我们也将站在现代天文学的高度，先看一看中国古代的“天文成就”，包括宇宙理论、星座划分、天文仪器、天象观测以及历法等。

1. 宇宙理论

我国的先民很早就开始思考我们居住的宇宙结构了，于是形成了盘古开天辟

地、女娲炼石补天等神话。而对天、地的科学观念也几乎在同时逐渐形成。我国古人对宇宙结构的看法,主要有三种学说:盖天说、浑天说和宣夜说。

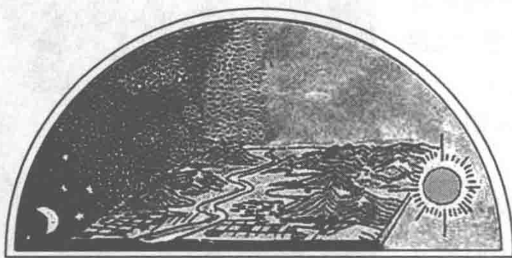


图 1-31 早期的盖天说:“天圆如张盖,地方如棋局”

盖天说可能出现于殷周之际。古人对“天”的直观表象,是一个巨大而晶莹的穹窿,这个穹窿笼罩在他们的头顶上,远远向四周低垂,覆盖着大地;古人对“地”的直观表象,则是一个平坦辽阔深厚(亦有山谷)的陆块,向外延伸,遥接天际。所以,在这种认识的基础上形成了早期的天圆地方宇宙理论——“盖天说”(图 1-31)。

早期的盖天说认为“天圆如张盖,地方如棋局”,后期成熟的盖天说见于汉代成书的天文算学著作《周髀算经》,认为不但天圆如盖,地也是圆盘状,而且略呈曲面凸起(“天象盖笠,地法覆盘”),天地相距 8 万里,地中心是北极,地势最高,中国在北极的南面 10 万 3 千里。

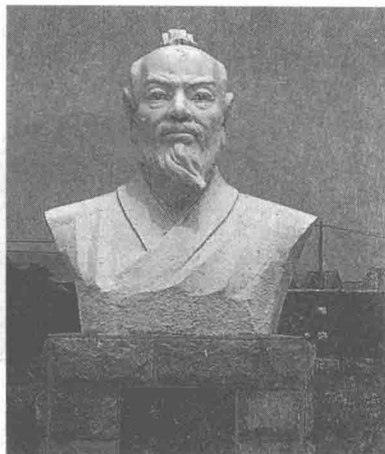
最奇特的是,盖天说并不认为日月星辰会落到地平线以下,而是认为天穹如一把巨大的伞盖扣住大地,以地中心的北极为轴,擦着天地交接的“地平线”转动,日月星辰也随着天穹平转。既然日月永远在天上,那么白昼黑夜的变化怎么解释呢?盖天说认为:“光”是有传播距离限制的——16.7 万里,日月星辰远到超过这个距离,比如随天穹转到遥远的西北方向时,我们就逐渐看不见它们了。这种解释现在看来很荒谬,但实际上这种思路是非常科学的,因为持盖天说者认识到了日月升落是一种表面现象,对表面现象创立种种假说来解释其实质,正是科学的任务。

所以,盖天说虽然与我们今日的地球观念、日月运行观念差别很大,但仍不失为一种卓有见识的理论。它以“日影千里差一寸”“日照范围有限”等有限的几个条件为原理,用逻辑演绎的方法和几何工具推导出一个有趣的宇宙模型,在古代独树一帜,与古希腊人的思维有某种相通。另外,以天极为圆心的天盖有若干同心圆,称“七衡六间”,是太阳随天盖在不同的节气里的不同运动轨迹,夏至最靠里,冬至则最偏外,很有点像现在的“北回归线”“赤道”“南回归线”概念。

西汉时期,盖天说刚刚走向成熟的时候,又出现了一种新的宇宙理论——“浑天说”。

“浑”就是“球”,盖天说认为天在上、地在下,而浑天说认为天在外、地在内,天是个圆球,把地包在里面,日月星辰可以转到大地下面去。

到了东汉，浑天说已非常成熟，其集大成者为著名科学家张衡（公元 78—139，图 1-32），他在《浑天仪图注》里明确解释道：天的形状是浑圆的，像鸡蛋壳，大地像蛋黄，靠天内的水、气浮力漂浮其中，天壳总有一半位于大地之上，一半位于地下，日月星辰附在天壳上，因此太阳白天在地上运行，夜晚在地下运行。


图 1-32　浑天说的集大成者——张衡

张衡虽然提到大地像蛋黄，但这仅是一个比喻，并没形成真正的“地球”观念。我们的先辈一直认为大地是平的，中原阳城是“地之中”，天北极是“天之中”，天之中并不垂直正对着地之中，而是向北倾斜高于地面 36 度。天壳带着日月星辰斜绕天极旋转不休。

浑天说把日月星辰的东升西落现象解释得非常好，宋代诗人四锡的《夜宴词》对此做了生动的描绘：

天倾西北半在地，夜转繁星磨海水。

逡巡转上星彩高，北斗未定光飘飘。

“天倾西北”是用女娲补天的典故，实际浑天说的天是倾向正北。诗中说，天的一半在地下，而地下是海水，地在海上漂浮，所以诗人想象，当天穹和星辰转到地下时，是在与海水的隆隆摩擦中通过——这一景象如果真有的话，确实是惊心动魄的。

浑天说（图 1-33）与盖天说相比，直接符合人们的日常经验，所以深受欢迎，其天“球”概念与人们直观的“天穹”也相当吻合，大大方便了坐标的建立和天体位置的测定，因此很快就取得了统治地位。直到今天，“球面天文学”中仍然可以看到浑天模型的留存。


图 1-33　浑天说宇宙模型

盖天说在汉代的浑天说兴起后，就一天天地衰落了，因为它的不少猜想、原理都经不起推敲。但是，人类变得再理智，也要时常“跟着感觉走”，因为只要我们站立在广阔的原野上，感受到的就是圆如张盖的穹窿昊天和方如棋局的平坦大地，这种人类本能的知觉是不会改变的，所以历史上曾有过长期的浑、盖并存并且相互批评的局面。

"宣夜说"(图 1-34)是一种比较奇特的宇宙理论，而且它流传至今也挺不容易。宣夜说在战国时期就出现了，那个时代百家争鸣，于是有人构想了一幅奇特的宇宙图景，并把他的观点向他的学生们传授，传了几代后传到汉代一位叫郗萌的官员那里，他的描述被史家注意到，于是写进史书保留了下来，这样今天我们才能了解到宣夜说的大致思想。



图 1-34　宣夜说

宣夜说的奇特之处，是认为天并没有固体的"天穹"，天高远无极，由气体组成，日月星辰在这些气体中飘浮游动。白天的湛蓝、夜里的深黑都不是天的本色，持宣夜说者比喻说：晴天，我们遥望远处的群山，仿佛是青蓝色；俯看千仞深谷，又仿佛是幽黑色，其实青蓝并不是山的真色，幽黑也并非表示深谷是满的。

由于宣夜说描述简单，也没有精确的天地模型，一直不受重视，几乎失传。可今天，在"中国古代天文成就"中，它几乎可以与盖天说、浑天说鼎足而立了，因为现代人发现，宣夜说认为天"高远无极"，即宇宙是无限的。这样，可认为宣夜说打破了"天盖""天壳"的思想，直接与现代的宇宙观念接轨——这种说法当然有些拔高古人，何况"宇宙无限"本身就是个复杂的问题。

星辰到底怎么在气体中浮动？宋代词人辛弃疾把月亮想象为是风推着前进的，但这样定性描述显然是不够的。盖天说有"盖图"(类似现在的活动星图)模型，浑天说有浑天仪，持宣夜说者能否造一台"宣夜仪"给大家演示一下？做不到！所以，宣夜说模型从哲学上说有其辩证意义，但作为科学模型则太粗糙、简单。



图 1-35　杞人忧天

《列子·天瑞篇》讲了一个"杞人忧天"(图 1-35)的故事，说杞国(今河南杞县一带)有个人，非常担忧天崩塌下来，以至于吃不下饭、睡不着觉。这时，一个持宣夜说者告诉他：天不是一层硬壳，而是气体，日月星辰也不过是些发光的"积气"，只会向上飘，怎么会崩塌

下来呢？此人听信了宣夜说，才茅塞顿开、如释重负，从此安心地过日子。

按现代精神病学的说法，此人是患了“天塌恐惧症”。也难怪此人想不通，当年女娲补天的故事那么深入人心，谁能保证今后盖天、浑天的天穹不会被什么撞塌下来？“天塌地陷”本是人们常挂在嘴边的话，宋代林季仲在《天柱峰》中曾写道：“我忧穹昊欲撑柱，莫笑杞人心独苦。”他就是在游览安徽天柱山时从“擎天一柱”联想到女娲补天的故事，才顿生忧患意识，感叹杞人的担忧不是多余的，没必要笑话人家。

按现代天文学的思路，小行星、彗核并不是“积气”，会不会有一天掉下来呢？电影《天地大冲撞》就是“杞人忧天”的现代版，事实上，世界上有一批天文学家专门监视近地小行星的动态，就是担心它们有一天会像灾星那样落在我们头上，这种严肃的工作能被讥笑么？

2. **星座体系**

与现代星座的源头——古希腊星座相比，中国星座是独立起源，在与其他文明几乎隔绝的情况下独立发展的，形成一个基本成熟、完备的星座系统，这在世界文明史上也是罕见的。

为什么这样说呢？因为对星星的取名、星座的划分，取决于这个民族对宇宙的理解和社会的发展状况。许多民族对星星都有命名，但多是零散的、部分的，真正形成完整星空命名体系的民族极少。世界上只有两个最著名的完整星空命名体系——一个是以古希腊星座为基础的西方现代星座，一个是与中华文明伴随始终的中国星座。怎么只有两个？想一想星座体系产生的时代——公元初年的时候，全世界有三分之一的人居住在地中海沿岸，三分之一的人居住在中华帝国，另三分之一的人散布在世界各地——这一现象也就没什么奇怪的了。

中国古代，很早就出现了一些单独、零散的星名，《诗经》中就有 9 个星名，如织女、参、昴、牵牛等；《左传》《国语》中共有 16 个星名；《尔雅》中有 17 个星名。恒星的全面命名是从战国时期的甘德、石申夫开始的。他们对恒星做了长期的观测，结合前人的成果，将全天划分为许多“星官”。甘德测定了大量恒星的位置，写成《天文星占》一书。石申夫也做了类似的测量，写成了《天文》一书。

西汉时代（比西方的托勒密时代还早），司马迁（约公元前 145—?）在撰写《史记》时写有《天官书》一章，这是第一部系统讲述星官的书，书中记录了 91 个星官，包括五百多颗恒星，司马迁把全天星空分为五大区域，称“五宫”，北极附近的星属于中宫，黄道、赤道一带则分属于东、南、西、北四宫，从此奠定了中国星官的划分基础。

为什么称“星官”？这与中国星座很多都象征人间帝王百官有关，中国古人在“天人合一”思想的支配下，给星座以帝王、百官、人物、土地、建筑物、器物、动植物

等名称，并认为星和人的官职一样，也有尊卑之别。它的创立、使用目的，主要是用于军国星占，为皇朝大小事占卜吉凶。

三国时代，吴国出现了一位叫陈卓的太史令（相当于国家天文台台长），他总结了甘德、石申和更早的天文星占家巫咸的天区划分法，将其三合一，建立起一套包含 283 个星官的恒星划分系统，成为中国古代恒星天区划分的标准方式，一直沿用到清朝结束。



图 1-36　中国星座的骨架——三垣二十八宿

中国星官一般只包括肉眼易见的星，很多暗星不予考虑，因此有的星官星数很少，只包含两三颗星，甚至一官一星（如天狼星、大角、北落师门等）。总的来说，中国星官大的框架是“三垣二十八宿”体系（图1-36）。

西方为了标志日、月、行星运行的位置，在黄道带设立了十二星座，我们的先人也是出于这一目的，大致沿黄道划分了 28 个星官，因为它们非常重要，所以另取名“二十八宿”。每宿选一颗星称“距星”，是度量和划分的标志点，不知何故，二十八宿划分得并不均匀，宽窄不一。

为什么分成 28 个星官呢？因为月亮在黄道带里运行时，相对于恒星背景，27 天多走一圈，所以古人凑一个整齐的数：28，让月亮大约一天走一宿。28 可以被 4 整除，这样记录太阳行走时又可以将这二十八宿分成 4 份，每份是一个季节。瞧，古人考虑得还是蛮周到的。为什么叫“宿”呢？“宿”有“停留”“住宿”的意思，古人想象，既然这些星官是为记录月亮行程准备的，人间的车马在官道上都是日行夜宿，月亮最好也该这样，所以这些星座就称为“宿”了，每一“宿”就是一家“月站”（图 1-37）。



图 1-37　月亮每天走一“站”

二十八宿被均分为四份时，各用一种动物的名字来统称，称“四象”，不但代表 4 个方位，还代表四季、四种颜色等。

“三垣”是另外三个大的“星官集团”。二十八宿绕黄道一周，把天球分成南、

北两部分，中国人看到北半部分的机会更多，所以这部分对我们就显得更重要。因此，我们的祖先在二十八宿包围的这半球“里”面又建立了“三垣”。“垣”是墙的意思，每一垣由两道墙围出了一块近圆形的天区。这“三垣”呈三点状分布，以北极为中心的叫“紫微垣”，另外两个是“太微垣”和“天市垣”。

从甘德、石申夫的星表开始，历代的星表也越来越完善，如宋代就有过5次大规模的恒星观测工作，留下的数据非常精密，到清乾隆年间的《仪象考成》星表已收入三千多颗恒星。中国星官由于命名和用于占卜的缺陷，星数难以大幅扩展，仅在清中后期用“增星”的方法略为补充。

中国古代的星图在世界上也是非常著名的。天文星占家所用的星图，汉以前是“盖图”，是配合盖天说而设计的，非常像现在的活动星图。汉以后则是常规星图了，现存最早的是在敦煌卷子里发现的唐代绘制的星图，绘有1 350颗星，为了把球面的天空展成平面，设计者把北极附近的星画成“圆图”，把赤道附近的星画成“横图”，表现了高明的设计理念，因为直到现在，这种方法也是最常用的。敦煌星图还是世界上现存最早而且星数最多的星图，现保存在英国伦敦博物馆。

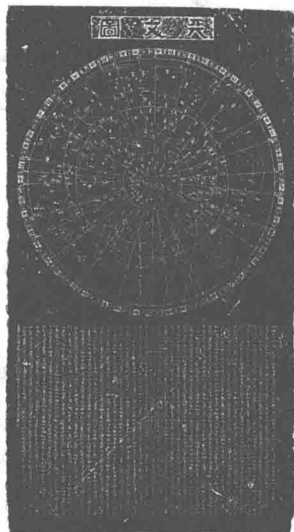


图1-38　苏州石刻天文图

现在苏州文庙收藏的石刻天文图（图1-38）也是一份相当重要的星图，为南宋年间刻制，高八尺，宽三尺五寸，上面是一幅25寸的圆形星图，刻有一千四百多颗星，还标有赤道、黄道、银河等，恒星的位置标得非常准确。

3. 天文仪器

在天文仪器的制造和使用上，我们的祖先也取得了惊人的成就。中国古代主要的天文仪器有圭表（图1-39）、浑仪（及其变种“简仪”）、浑象和漏刻。这些仪器中的浑仪和浑象，不仅是天体测量的工具，也是皇家礼器、皇权的象征。另外，它们铸造精美，布满各种纹饰，也是高超的艺术品。

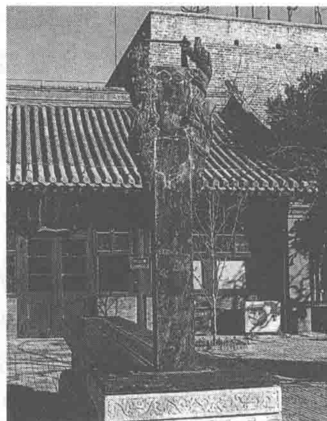


图1-39　圭表

圭表是中国最古老的一种天文仪器。先民很早就知道，在地面上直立一根竿子，就会在地面投出一条细长的影子，这条影子的长度和方向在一天中不

断变化，人们逐渐掌握了这条影子的变化规律后，这根竿子就成了最简单的天文仪器，可以利用它来定时刻、定方向、定节气等。后来定时刻的功能发展成了日晷、定方向的功能演变成了正方案，定节气的功能则成为专用的“圭表”。

“表”即直立的竿子。测节气时只能正午进行，在正午时，太阳偏向正南，表的影子投向正北方向。每天正午这条影子长度都不一样。夏至这天正午，烈日高照，影子最短；冬至这天正午，寒日杲杲，角度很低，影子最长。测出最短（或最长）两个影子的时间间隔，即是相邻的两个夏至（或两个冬至）的时间间隔，这就可以确定一年的长度，古人因此很早就知道了一年的长度是365天多，立表测影成了最早的一种天文测量方法。

开始时人们是用一把尺子去量中午的表影长，后来觉得既然中午表影的方向总朝正北，就干脆把尺子固定在地面朝北，与表做成一体，到中午时直接去读刻度就可以了，这条固定的尺子叫“圭”，于是最早的天文仪器——圭表就这样正式诞生了。到汉代，规定表高八尺，圭长一丈三尺，成为定制。

汉代浑天说出现以后，配合浑天说，中国古代两种最重要的天文仪器——浑仪（图1-40）、浑象出现了。



图1-40　浑仪

浑仪是用于测量天体位置的，它由许多带刻度的圈环嵌套组成，主要包括固定的子午圈、赤道圈和黄道圈，还有“窥衡”，它可以绕轴转动，将窥衡指向待测天体，即可从对应的圈上读出其赤经、赤纬坐标。

中国最早记载的浑仪可追溯到西汉时期。西汉末年，扬雄在他的《法言》里记载了落下闳、耿寿昌等人的工作：“或问浑天，曰：落下闳营之。”其中的“浑天”就指早期的浑仪。

唐贞观七年，李淳风（公元602—670）创制“浑天黄道仪”，它的外层有固定的地平、子午、赤道环，称“六合仪”；中层是可以转动的赤道环、黄道环和白道环，称“三辰仪”；而内层是夹有窥管的环，称“四游仪”，这些名称一直沿用下来。

由于历代不断致力于技术上的改进，无论观测的精度还是形式的精美，浑仪都始终走在世界前列。到元代，浑仪水平又达到一个高峰。郭守敬（公元1231—1316）认为传统浑仪圈环太多，互相遮挡，故将它们简化，发明了“简仪”。简仪连

赤道环都被移至南端，视线非常开阔，筒式窥管也改为用细线照准，大大提高了观测精度。它的设计和制造水平领先西方三百多年，直至公元1598年欧洲天文学家第谷(Tycho Brahe)发明的仪器才能与之相比。


图 1-41　清代的赤道经纬仪

明清之交，西方古典天文学传入中国，在传教士的主持下，共制造了8件大型中西合璧式的天文仪器，刻度是西方360度制，但形制和纹饰基本是中国风格，如今它们保存完好，仍能转动，矗立在北京古观象台上(图 1-41)。

浑象是模拟演示浑天说的仪器，最早的浑象叫"浑天仪"(图 1-42)，是张衡发明的，这是世界上第一台自动演示恒星和日、月周日运行的仪器，几乎囊括了当时所有先进的天文学知识。它的主体是一个直径4尺(当时1尺合23.1 cm)的空心铜球，球面上按实际位置布满了星体，铜球的轴指向天北极和南极，靠漏壶匀速水流的力量，可以带动铜球慢慢转动，其速度和方向与真实天球的东升西落完全一样，所以这架仪器全名叫"漏水转浑天仪"。


图 1-42　张衡浑天仪复原模型

张衡字平子，公元78年出生于南阳郡(今河南南阳)。他从小就天资聪颖、勤奋好学。公元111年，33岁的张衡被朝廷任命为太史令，太史令的重要工作是掌管灵台，即当时的皇家天文、气象、地震台。这里驻有候星、候风、候日、候气的专职人员四十多人，台上放有各种测星、测风的仪器。

张衡常年亲自观察天象，摸索日、月、星辰的运行规律，终于认定浑天说最符合实际，他在《灵宪》中对浑天思想进行了系统的研究和总结。他还发明了候风地动仪、指南车、记里鼓车等，在数学、文学、绘画方面也都有突出的成就。有人说"候风地动仪"是两个仪器，即"候风仪"和"地动仪"，那么再加上"浑天仪"，可以说张衡简直是"上管天、下管地，中间管空气"了。据说当时的著名学者蔡邕参观了浑天仪后，对张衡的聪明才智佩服得五体投地，感叹道："我真想一辈子都躺在浑天仪里！"

后代的浑天仪改称"浑象"，历代朝廷都要铸造浑象，放在皇家天文台，到清朝

铸造的浑象称“天体仪”，其精美、珍贵程度堪称之前历代天文仪器之首。

这些浑象上的星体都标在浑天球的外面，人们只能从“天”外看，看到的星座与实际形状左右颠倒。到了元朝，郭守敬真的造出了一台可以让人“躺在浑天仪里”的装置——玲珑仪，它的主体是一个直径两米多的空心铜球，也像浑象那样斜架在一座高台上，但下面有门可以让人钻进去，球壳上按星星的位置凿出许多孔，人在里面，观看这些点点星孔，如同观察真的天象一般。

天文仪器的另一大类是计时仪器，中国古代最重要的计时仪器是漏刻。

漏刻传说在黄帝时期就已出现。古代常规的漏刻由两部分组成：漏壶和刻箭。漏壶盛水，水不断漏出，流进“受水壶”，刻箭是标有时间刻度的尺，用一只箭舟托着，浮在受水壶的水面。受水壶的水面逐渐上升，刻箭也逐渐上升，就可以指示时刻。古代把一昼夜分成 100 份，一份用一个刻度表示，称“一刻”。

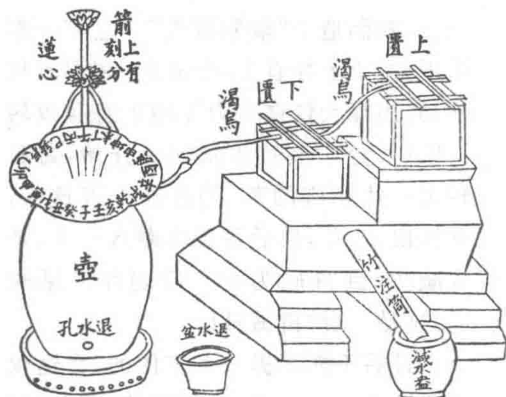


图 1-43　多级漏壶的一种——莲花漏

主漏壶需要不断人工添水，以保持常满，以免流速降低。后来人们又发明了多级漏壶（图 1-43），漏壶上面再加壶，壶水补偿流进主漏壶，以保持主漏壶的水常满。这就省去很多人工了。

在古诗中我们常遇到涉及“漏声”“滴漏”的句子，如宋代王安石的《春夜》：“金炉香烬漏声残，剪剪轻风阵阵寒。”当代学者做过许多模拟试验，发现“滴漏”是行不通的，漏壶流出的水流必须连续，否则滴水会严重蒸发，影响精度，水流须连续到“好像热拉成的玻璃条，纹丝不动，闪光发亮”，如果看见它有一点儿颤动，都是流量有了变化，更不用说听到滴答声了。可见“漏声”“滴漏”可能是误解或以讹传讹的熟语。

正因为漏壶的水流连续，特制的大漏壶水流推动力是很大的，所以张衡的浑天仪可以靠漏壶的动力推动沉重的浑天球昼夜旋转。

以上提到的漏壶都是用刻箭指示时间，这种漏刻叫“箭漏”。还有用杆秤称流出水的重量来指示时间的，叫“秤漏”。还有一种漏壶不用水而用细沙，称“沙漏”。古代把各种“动态的”计时器都叫“漏”，如靠燃香计量时间的叫“香漏”，靠滚球经过曲折的滑道累计时间的叫“辊弹漏”等。

日晷、月晷、星晷则是用天体位置来指示时间的仪器，与“漏”相比，“晷”属于“静态的”计时器。

日晷(图 1-44)是最常用的。人类使用日晷的时间非常久远，古巴比伦人在6 000年前就开始使用了，日晷在西方一直也非常普及。它的缺点是，在看不到阳光的时候如阴天和晚上就不能用了。在中国，日晷出现得很晚，而且很少被实际应用，多是作为一种象征摆在皇城宫殿前。

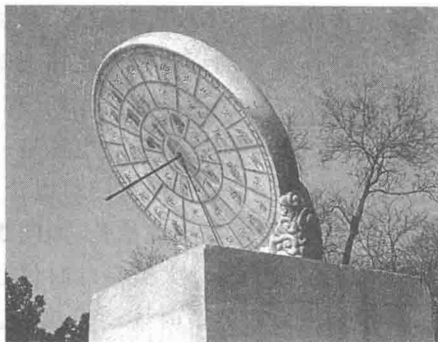


图 1-44 中国古代的赤道式日晷（笔者摄于北京古观象台）

张衡还发明过一种装置“瑞轮蓂荚”，也很有趣。据传说，有一种仙草叫“蓂荚”，它每月初一开始生一个荚，初二又生一个，以后每天生出一个荚……直到十五满月时生出 15 个荚；随后从十六开始，每天掉一个荚，直到月末全部掉光。张衡受到启发，就制造了“瑞轮蓂荚”。它有一根主干，主干上挂有 15 个蓂荚，和浑天仪联动，当浑天仪在水力作用下每昼夜转一圈时，这个装置也从初一开始，每日转出一片相应的荚，到月圆十五这天，共转出 15 片，然后每天再藏入一片，依次减少，到月底为止。用现在的话来说，这是一台“机械日历”。

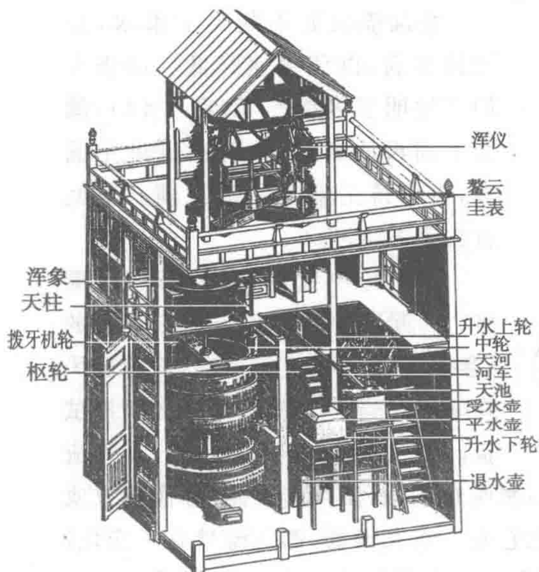


图 1-45 水运仪象台

最后不能不提一下宋代的“水运仪象台”(图 1-45)。它是把浑仪、浑象、漏刻三仪合一，并且靠漏壶的水力联动的巨大装置，其本身就是一个小型天文报时台。它的顶部是放置浑仪的小屋，中部是浑象，底部是报时器，用漏壶水带动仪、象、报时器一起动作，这是中国古代最宏伟、最复杂的一座仪器。

4. 天象纪事

中国古代的天文星占活动是建立在勤勉监候异常天象的基础之上的，近代以前，中国人一直是世界上最勤勉、最精确的天文观测者，历朝历代，皇家天文台都有专职人员日夜不停地观天测候，几乎不漏掉任何突发天象(包括稍纵即逝的火流星)。所做的天象记录被视为全人类珍贵的科学遗产。

中国古代的天象记录中，最有价值的是涉及日月食、彗星、太阳黑子、新星等

的资料。史书中关于彗星、流星、新星等记录的详细程度和精确程度，可使现代人根据这些记录精确地确定其位置、亮度和运动变化过程，很多对于现代天文学也有很高的应用价值。

20 世纪 60 年代在山东莒县出土的距今约 4 500 年的陶尊上，发现有由“日、月、山”组成的符号，有人释为“旦”字，当是我国最早的天象纪事。

日食记录最突出的应用就是研究地球自转速度的变化。利用现代推算的某次日食同历史上这次日食的实际观测数据比较，可以得出可靠的地球自转长期变化情况，而历史上可靠的日食记录主要来自中国。中国有的日食记录已成为经典，如《尚书》中记载的日食被称作“书经日食”(图 1-46)，《诗经》记载的被称作“诗经日食”(图 1-47)等。


胤征 惟仲康肇位四海 胤侯命掌六師 羲和廢厥職酒荒于厥邑 胤后承王命徂征 告于眾曰嗟予有眾 聖有謨訓明徵定保 先王克謹天戒臣人克有常憲 百官修輔厥后惟明明 每歲孟春遒人以木鐸徇于路 官師相規工執藝事以諫 其或不恭邦有常刑 惟時羲和顛覆厥德 沈亂于酒畔官離次 俶擾天紀遐棄厥司 乃季秋月朔辰弗集于房 瞽奏鼓嗇夫馳庶人走 羲和尸厥官罔聞知 昏迷于天象以干先王之誅

图 1-46 “书经日食”

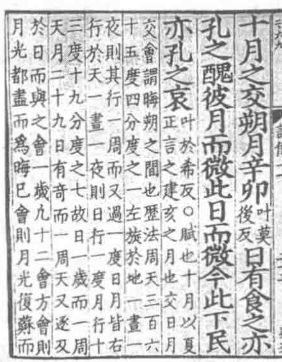

十月之交朔月辛卯日有食之亦孔之醜彼月而微此日而微今此下民亦孔之哀

图 1-47 “诗经日食”

中国历史上有五百多次彗星的记录，最早的见于《春秋》鲁文公十四年(前 613 年)：“秋七月，有星孛入于北斗”，当时已经把彗星看作天体了。相比之下，西方从亚里士多德开始直到 16 世纪一直把彗星看作大气中的燃烧现象。



图 1-48 世界最早的太阳黑子记录

《汉书·五行志》记载了公元前 28 年的黑子：“三月己未，日出黄，有黑气，大如钱，居日中央。”(图 1-48)时间、位置、大小俱全，而西方直到伽利略才利用望远镜真正确认了黑子的存在。

中国不间断的天象观测中还保留了世界最完整的新星、超新星记录，殷代的甲骨文已有世界最早的超新星记录：“七日己巳夕，有新大星并火”。20 世纪 50 年代，中国天文学史学者席泽宗整理发表的《古新星新表》，详尽列举、钩

沉、考据了中国古代的新星、超新星记录，为那时射电天文学的一系列重大发现提供了有力的历史材料，在国际天文学界引起了轰动。这是中国古代天象记录应用最精彩的篇章，被誉为20世纪中国人对世界天文学的最大贡献。

超新星记录中最著名的是宋代至和元年(公元1054年)的那次记录，故事如下：一天凌晨，朝廷的天文生正值班观察着星空时，突然发现觜、参宿北面的"天关星"旁边出现一颗明亮的星星，它一动不动，闪闪发光，亮度盖过了周围所有的星，天文生立刻报告："客星"出现了。

客星，顾名思义，就是像客人一样，有来有去的星星。这颗客星亮度还在增加，很快白天都能看见了，一连持续23天白天都能看见，后来才慢慢暗下去，将近两年后才消失。典籍《宋史·天文志》《宋会要辑稿》中都留下了记载，汉字文化圈中的日本也有记录。在欧洲，当时竟无一人关心这事，因为当时他们信守亚里士多德的观点"天体不变"，既然如此，那么"变的就不是天体"，他们都以为那是大气层的燃烧现象呢！

客星消失，这事看来就过去了，但到了1731年，英国一位天文爱好者用望远镜观测时，发现金牛座ζ星附近有一个朦胧的小星云。一百多年后，英国的罗斯伯爵用他自制的当时世界最大的望远镜观测它时，发现它张牙舞爪的，像只螃蟹，因此给它起了个专名叫"蟹状星云"(图1-49)。到1921年，天文学家检查蟹状星云过去的照片，发现它的个头一年比一年大了，照这个速度回推，它应该是900年前从一个点膨胀开的。这时科学家想到了中国1054年的客星记录，天关星就是金牛座ζ星，蟹状星云会不会是1054年超新星爆发形成的呢？经过科学史学者的周密论证，最后肯定了这一点。

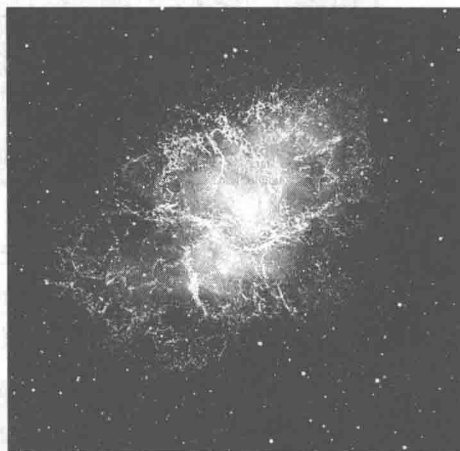


图1-49　天空中的"全能天体"——蟹状星云

这个活标本，对天文学家研究恒星的演化极有帮助。射电天文学兴起后，人们又发现它还是天上最强的射电源之一，慢慢又发现它还发射强烈的红外线、紫外线、X射线和γ射线。1968年又发现星云中有一颗射电脉冲星，后来用大型光学望远镜找到了它，说明它还是光学脉冲星，现在科学界公认它是一颗快速自转的中子星。这样，现代天体物理学竟有一半的内容与这块小星云有关，它真可以说是天空中的"全能天体"了。



图 1-50　古代中国人是世界上最勤勉的天文观测者（张秉昌作）

中国古人还发现过木星的卫星呢！那是公元前 364 年夏天的一个晴朗夜晚，天文星占家甘德守候在观星台上瞭望，一颗明亮的星星慢慢跃上天空，它是岁星（木星）。他通过仪器上的窥管盯住木星，忽然发现木星的旁边有一颗小小的星星，这颗小星星有些发红，是木星偶然走过一颗小恒星旁边吗？可是甘德一直跟踪到天快亮、木星偏西，这颗小星星依然在木星旁边。第二天再看，小星星依然跟着木星。这下子甘德明白了，这颗小星星与木星是“一伙的”，所以他把这颗小星星称为木星的“同盟”。（图 1-50）

这次观测被甘德较为详细地记录在《天文星占》中。天文学史学者席泽宗院士仔细研究了这条记录，通过模拟观测、实地观测等手段证明，这颗被甘德称作木星“同盟”的小星就是木星最大的卫星——红色的木卫三。过去天文学界公认，是意大利科学家伽利略于 1610 年用望远镜发现了木卫三，现在我们知道，甘德在伽利略前近 2 000 年就发现了木卫三的存在了。席泽宗院士的这一论证在国际上引起很大的反响。

在发掘中国传统天文学成就时，学者们早就了解到，中国古代描述天体的位置是用度数坐标表示的，称“去极度”和“入宿度”，与现代天球坐标很相似。

但是“都”用度数表示吗？其实中国古代，有大量天象记录，非常奇特，它们是用丈、尺、寸来记录星体的高度、相互距离和大小的，还有的则写成“大如桃”“大如盘”等。因为这种记录方法与现代不接轨，看不出算什么“成就”，所以一直被大大忽略。古人在观天时究竟看到了什么，要用丈、尺、寸，甚至桃子、盘子来度量天体呢？本书作者为解决这个问题，通过深入研究，发现古代这类天象记录是一贯的、成系统的，人类在用肉眼观测天空时，需要估测天体的大小长短、相互距离、离地平线的高度时，总是把天象投影在离人眼 13 m 外的一个天球面上再去估测（图 1-51）。比如彗尾“长二尺”，就是彗尾投影在 13 m 外的天球“屏幕”上

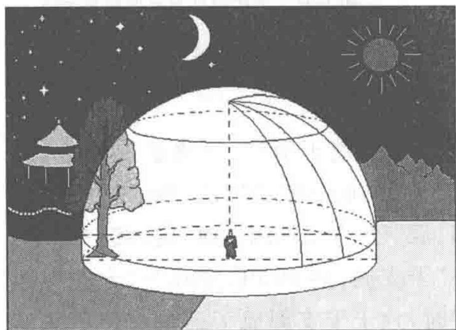


图 1-51　古人目视观天时，总把天象投影在以自己为中心、半径约 13 m 的假想天球面上去估测它们的长短、大小

时，真实长度为“二尺”；流星“大如鸡蛋”，就是流星的发光面与 13 m 外的鸡蛋看来是同样大小。这样就可以将古代的这类观测资料转化成可靠的现代天文数据。

5. ***精密历法***

现今通行的格里高利历是一种规则非常简洁的历法，稍懂算术的人就可以按一套简单的规则推导，几乎谁都可以印制、发布。但中国古代的历法可复杂极了，非专家不能推算，而且古代历法是“皇历”，不是谁都可以发布的。

中国古代历法从成形以来一直是“阴阳历”，以一个朔望月为一月，朔日永为初一——这是阴阳历的“阴历”部分；以一个回归年为一年，将一年中按太阳在黄道上运行的位置平均分成 24 份，称“二十四节气”——这是阴阳历的“阳历”部分。中国上古以 365 又 1/4 日为一年，以此标准制定的历法称“四分历”。古代的夏历，据说是夏民族的后裔使用的，以冬至所在月开始的第三个月为“正月”，汉代以后的历法都沿用这个岁首，因此中国历法常被称作“夏历”，现代人为了把它与公历区分，又给它取名“农历”(图 1-52)。



图 1-52　清代朝廷颁布的时宪历书

农历以 12 个月为一历年，朔望月的 12 个月比阳历一年要短 10 天左右，为了保证农历的一年与阳历的一年同步，必须每过 3 年左右就在12 个朔望月之间增加一个月，称“闰月”。从秦汉开始，我国历法家一直采用的是“19 年 7 闰”周期，即：19 个农历年中要插入 7 个朔望月，但这过于粗糙，南北朝的祖冲之(公元 429－500)利用他测算出的精确的回归年、朔望月长度，提出 391 年 144 闰的闰周。后来，历法改用“无中置闰”的规则(即遇到不含中气的月份为闰月)，使闰月的确定成为一个自动程序，不再考虑闰周。

天干、地支是中国文化特有的顺序法，开始主要用于历法，后来扩展到方位、序数、命理、风水以及日常的分级、分类等。天干为 10 个字：甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸。地支为 12 个字：子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥。天干、地支按顺序自然搭配可组成“甲子、乙丑……”干支周，共 60 组，俗称“六十花甲”，中国历法长期使用干支纪年、纪月、记日和记时，六十干支周成了记录中国历法的骨架。

中国古代历法家推算的远不是历谱上标注的那点工作，历法家对太阳、月亮、

五大行星的位置，以及日月食都要做精密的推算，以至其中很多内容与今日编算天文年历的工作很相似，因此今天的学者称之为“中国古代数理天文学”。不过这些方法基本都是按过去记录外推出它们的运行方式，古代天文家几乎从不追问天体运行的几何模型与深层原因。

我们的先人编算历法时有一条极为可贵的标准：必须靠观测天象尤其是观测日食和验证其预报数据来判定一部历法的好坏。皇帝一言可丧邦，但他也不能妄断一部历法不好。这就保证了历法一步步走向精密与科学。所以，历代关于天体运动规律的新发现都被逐步引入历法中。东晋虞喜发现岁差（虞喜测定的是冬至点每 50 年一度向西后退，古希腊的伊巴谷定出是每 100 年一度，实际现代值是 71.7 年一度），祖冲之把它引入到《大明历》中；北齐张子信发现了太阳、五星运动的不均匀性，被隋唐诸多历法引入；到了元代的授时历（公元 1280 年王恂、郭守敬制定），中国传统历法达到最高峰。授时历以 365.242 5 日为一回归年（与今日通用的公历年长一样），废弃了很多烦琐的旧法，由于它的精密可靠，一直使用了 263 年。

从明末开始，欧洲耶稣会士东来，将西方近代科学成果逐步传入中国，特别是历法，引进了西方的几何体系，从此编算历法的方式走向西化。另外，地球学说、宇宙体系、天文观测方法等无不在冲击改造着中国天文学，但后者靠其韧性和传统的惯性顽强保持着原貌，抗拒着改造，直到 1911 年清朝覆亡，中国传统天文学正式退出历史舞台。

皇权的天空——中国传统天文学原生态

按现代天文学的内涵，中国传统天文学中的很多内容都不属于“天文学”，所以上一节我们是有目的地选取与现代对应的“中国古代天文学成就”来介绍。而完整的中国传统天文学原貌并不是这样的，这一节我们展示一下古人从他们自己的角度在“天文事业”上做的工作，因是站在古人的角度去接近古人，故称之为“中国传统天文学原生态”。

按中国古代的观念，上天是地上万物的主宰，天象则是上天向人间显示自己意志的媒介，统治者则认为自己是代替上天统治着臣民，所以皇帝必须要向大众表明自己是“天命所系”，因此在天象观测、星体推算上都独家把持。这样，天文学实际是朝廷治理国家的要务。至于历法的制定和颁布，更被视为统治者上承天意、下御万民的权力象征。

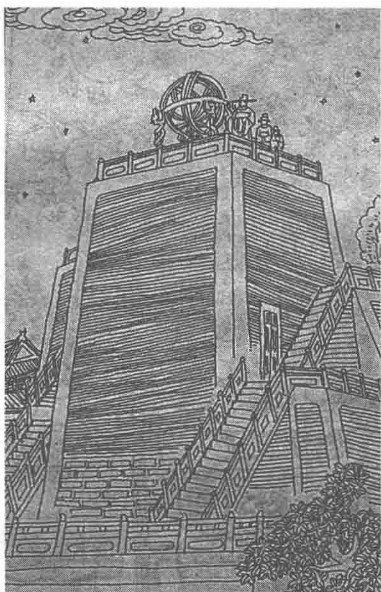
1. 天文机构和皇历

同样是观测天象，现代天文台是用来探索宇宙的奥秘，中国古代的天文台则是用来“昭示天命”。中国历代朝廷都设有专司天文的官署，各朝名称不同，如太

史局、司天监、天文院、钦天监等。官署设有天文、历法、漏刻等分职，供养许多专职人员对天象、气象进行连续、细致的观测和分析，还有制定历法、报时，为皇家选吉日、看风水等方面的事务。他们观天的地方一般叫作灵台、司天台或观象台，由于历经岁月和战火，古代观天遗址留存至今的已经不多。

官署中的天文学家，也都是政府官员。而且因为他们是“天意”的解释者和传达者，所以在关键时候他们的话比一品大员的话更有分量。也正因为这种命定一般的政务，这些人绝无古希腊人无忧无虑的心态，更不敢偏离主流去对“老天”或宇宙的本质去追根溯源。

上古时代，祀天和测天是密不可分的，巫师祀天的祭坛也是天文观测台(图 1-53)。后世随着社会的发展，祀天和测天逐渐分开。如明清时代，祀天在天坛，测天在观象台。几乎每天都有若干专业人员在观象台上日夜监视天空，观察各种预测到的或突发的异常天象，包括日食，月食，月亮、行星之间的掩犯合，以及彗星、新星、流星、流星雨、极光，还有风云雨雪气象变化等。天文学家每天要根据夜里观测到的天象做出国家大事吉凶灾祸的预言，供皇帝、大臣在朝堂之上制定决策时参考。


图 1-53　古代的天文台

古代天文机构除了官方性特点，还有一点就是保密性。天文机构因为有言祸福、推治乱的功能，所以很大程度上处于保密状态，历代都有严禁民间私藏天文图籍、仪器的法律规定。天文官员交往范围也都是受严格限制的。

历书的编算和颁发是天文机构的一项重要工作，也是皇家日常活动中的一件大事。历书颁发有着重大的政治意义：一是皇权的象征，二是谁用此历法，都表示对该朝政权臣服。通用历书的编制，包括推算节气、月亮的朔望、太阳的出入，以确定年、月、日、时并以干支命名，标明各种历注(如节令、宜忌、斋戒祭祀日等)。例如元代，有一个七十多人的编历工作队伍，历书的印制也在常设部门“印历工作局”进行。天文学家把下一年即将颁行的历书编算印刷完毕之后，择日呈上朝廷，然后由礼部负责颁发。

在现存明代《大统历》历书的封面上，有一个大印，文字为：“钦天监奏准印造大统历日，颁行天下。伪造者依律处斩。有能告捕者，官给赏银五十两。如无本

监历日印信，即同私历。"可见历书完全是被皇家垄断、"版权所有不得翻印"的，哪怕是复制了一模一样的皇历，但没有钦天监印信，也视同伪造。

历书的颁发有非常隆重的仪式。颁历时间定在十一月朔日，地点是朝廷正殿，参加者有皇帝、诸亲王和文武群臣，所有参加者都会得到一本来年的新历。随后礼部向全国各省政府颁发民用历，民用历比给皇帝、亲王和大臣的历书简略一些，发至各省的民用历书只有两本，一本盖印保存，一本照式刊刻，印发到各府州县。

作为宗主国，朝廷也向周边附庸国颁发历书。唐朝时，南诏、回鹘等国都从唐朝接受过历书。明朝在每年十一月朔颁历之后，接着就向附属国颁历，比如对朝鲜每年赐历 100 本，琉球国远在海外也奉明朝正朔，但由于路途遥遥，受历的使臣回到琉球时，往往已经是来年的三四月份了。

辛亥革命后，封建王朝已被推翻，但人们对历法的情结仍然很重，民国时颁发的历书，加有总理遗嘱、三民主义，像政治手册一般，编历时，党部要有人参加。而孙中山当临时大总统后的第一件命令，就是《改用阳历令》。

2. 天人合一与分野

国学大师钱穆毕其一生的研究，曾得出结论说：中国传统文化的根本，就是"天人合一"观念。

"天人合一"又叫"天人感应"，天的代表是"天帝"，它是一个有意志、有人格的神。我们的祖先认为，天帝无时不在洞察着人间，并经常干预人间的事，而且上天在行动之前总是先给人间点预兆和警告——这就是星象上的变化；反过来，人间的有些事，也会引起星体的变动，这也算是老天给人间的警告（或赞许）。也就是说，在中国人眼里，"人"和"天"的作用竟是交互的，"天支配地"不稀罕，但"人能感天"在其他民族的观念中则是极罕见的。"天人合一"观念就这样强调"天道"与"人道"、"自然"与"人事"的相通，并以此出发来追索天、人的协调一致。虽然以荀况为代表的无神论者放言"天行有常，不为尧存，不为桀亡"，但在漫长的历史进程中，这种声音相当短暂和微弱。

九州之大，人口、事物之多，星象和人事怎么对应才显得有条理、可被观测呢？星官和分野就是为解决这个问题设立的。星官划分和"分野"思想可以说是"天人合一"观念最典型、最形象的体现。

在上一节，我们讲到了三垣和二十八宿的划分。这里我们讲讲它们的含义。

"三垣"是干什么的呢？古人把帝王宫殿、朝廷百官等等全都搬到了天上。"紫微垣"就是天上的皇宫，由天帝坐镇中央北极，旁边的星官有后妃、太子、宦官等，周围则有宰相（丞）、内阁高级首领（枢、辅、弼）以及宫廷卫队等等。北极星极为重要，天上的星官全在北极天帝的统治之下，这正是古代中国"普天之下，莫非

王土”思想在天界的反映。

“太微垣”则是朝廷行政机构，是天帝、大臣处理政务的地方，其中央星官是帝座，旁边是太子、从官、幸臣，四周则分布着上相(宰相)、上将、近臣、执法、三公、九卿、诸侯。还有郎将、郎位、虎贲等保卫人员。

“天市垣”则是一个综合贸易市场。也由天帝率领诸侯坐镇，“帝座”星在中央，各诸侯组成垣墙，有直接指挥的中央政府大员(天弁九星)，有市场管理中心(市楼)，然后是商店和摊点——车肆、列肆和屠肆星官，市场里还专设了若干计量监督部门，如帛度、斗、斛等星官。

二十八宿更为重要。古人相信，老天向人间示警，常用太阳、月亮、五大行星这些运动的天体经过某些天区来表现，日月五星总是在黄道带上“来往穿梭”，所以古人才在黄道带上设立了二十八宿，并把它们分配给中华大地的各个地域，以通过日月五星和这些星宿的“相遇”来占卜军国大事。

这种分配对应就叫“分野”。据《晋书·天文志》的标准，天上二十八宿在地上的分野如下(图 1-54)：

东方苍龙：	角、亢、氐、	房、心、	尾、箕
	兖州	豫州	幽州
北方玄武：	斗、牛、女、	虚、危、	室、壁
	扬州	青州	并州
西方白虎：	奎、娄、胃、	昴、毕、	觜、参
	徐州	冀州	益州
南方朱雀：	井、鬼、柳、	星、张、	翼、轸
	雍州	周	荆州

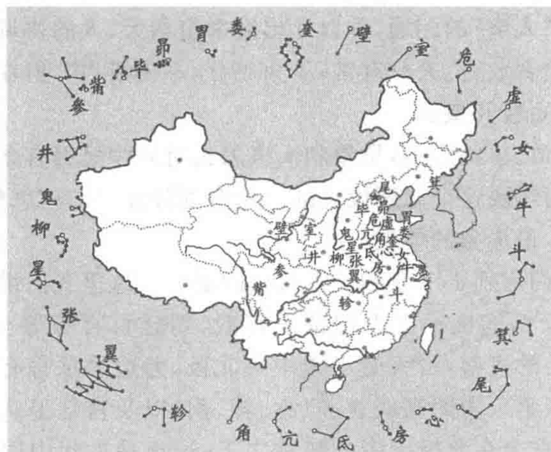


图 1-54　古代二十八宿分野在现代地图上的标示

瞧，仿佛是在玩一场星球大战的假想游戏！不过，古人可不是玩游戏，他们认为这是一件极其严肃的事。让二十八宿与九州地域对应，哪一宿有了特殊天象，就是哪个地方有事了，上天在给予警示。比如，火星走到井宿时，井宿所在的分野就将蒙受水旱之灾；木星镇守在斗牛之间时，斗牛所在的分野就会五谷丰登，等等。古代诗文典故中经常提到分野。唐代诗人王勃在他著名的《滕王阁诗序》一开头就写到："豫章故郡，洪都新府，星分翼轸，地接衡庐。""星分翼轸"即是说豫章（南昌）属翼、轸的分野。

"三垣""二十八宿"以外的广大空间，是密密麻麻、各式各样的星官，这些星官名更有趣，古人几乎把地上的一切也都搬到了天上，河流、道路、桥梁、战场、城堡、田园、车马、人物等，都有其明确的星占意义。星空世界上还分布着北方、西北方、南方三大战场，分别代表中原与北狄、西戎和南蛮的对抗，一有战争时，这些星空就会"忙碌"起来。

总之，中国人在天上划分星官时，按人间模式几乎重新仿造了一个世界，这是中国星官体系与西方星座体系的一个重要不同之处。

3. 军国星占学

西方的星占学称"生辰星占学"，以一个人出生时的天象来推断他一生的命运，这种星占学是非常个性化、针对个人的。但中国古代的星占学不是这样，中国的天文星占一开始就是皇室的专用品，不关心普通人的命运性格（那是街头算命先生的事），只关心国家大事，皇室兴衰，战争水旱，人民疾苦，是非常"突出政治"的。由于预测、预知的人事都是军国大事，这样的星占学被我们称作"军国星占学"。

中国传统天文学的主要功用是"昭示天命"。"天命"一般仅指与帝王有关的行事。经上天确认，帝王将相的某种行为由于被赋予"天命"，就有了权威性和合法性。古人还认为：一、天命可知；二、天命会改变；三、天命归于"有德"者。那么，天命是靠什么被人们所知的呢？当然是天象。易经说："天垂象，见吉凶。"根据天象观测所做的星占是王朝政府决策的一个重要程序，星占家通过他们的预言，影响了历史，甚至改变了历史。中国古代的军国星占学神秘莫测，烦琐精深，不可能通过短短一两页文字叙述清楚，以下仅讲几个故事来说明。

关于中国人的"天人互感"，特别是"人能感天"观念，有一个春秋时代宋景公处理"荧惑守心"的故事。"荧惑守心"即火星运行到心宿时发生"留"。且说宋景公这天上朝，太史官禀报："昨天晚上，下官按惯例观察星象，发现荧惑守心，这是个大凶的星象，请大王召集百官商议对策。"

宋景公便召集百官，问他们有什么办法。文武官员面面相觑，谁都不敢说，因

为荧惑守心标志着君王遇祸、宫廷遭灾，怎么开口向国王解释呢？这时星占家子韦上前说道："荧惑守心是最不祥的星象，主君王大祸。何况心是宋的分野，正应宋国。不过，大王可以通过祷告驱禳的办法，把这个灾祸转移到宰相的身上。"

景公说："这怎么使得？宰相是助我治国的人，我若移祸给他，岂不惹天下人耻笑？"

子韦说："还有个办法，大王可于今日午时三刻登上灵台祭天，将灾祸转移给百姓。"

景公不高兴地说："你开什么玩笑，人民都死了，我还当什么国君？"

子韦又想了想，说："那就别转给人了，转成今年年成不好，也能过这一关。"

景公有些愠怒："年成不好，必有饥荒，人民会挨饿。为了自己而坑害百姓，这算什么君王？老子说：受国不祥，方为天下王。这是我的命，我自己承担吧！不用你出这些馊主意了。"

子韦一听非常高兴，退了几步，率众大臣一齐向景公礼拜，说："微臣向国君贺喜，您这种情愿自己受难，也不嫁祸给臣民的德行，一定会上达天庭，天帝不但能使您免祸，而且您一定还会延寿。"

果然，这一天什么事也没发生，到了晚上，太史官陪着景公和子韦再观察天象，发现火星已经离开了心宿。

此故事中，似乎这两人都是无神论者，宋景公正气凛然，舍己救苍生，子韦在"欲擒故纵"，用计劝说安慰宋景公。其实恰恰相反，这两人对星占都是深信不疑的，只是他们又都相信"至诚能感天"，认为只要敬天知命，守善修德，这种诚意一定能感动上天，令上天对国家君王的命运做出新的安排。史书上也接着记载：这天晚上火星不但离开了心宿，而且走了三舍，看来上天的确被景公的德行给感动了。

那么，古代星占家预测的胜算有多大？如果没说准，怎么办？这可能是读者特别关心的问题。我们看一个唐代日食"当食不食"的故事。

日全食，可能是所有天象中最令人惊心动魄的了。光芒万丈的太阳是地上万物生长的源泉，因而古人对太阳都抱有一种崇拜和敬畏心理，那么太阳被"食"当然就令古人惊恐万分了，这在中西各民族的历史上都没有例外。在中国古代，民间认为日食是"天狗吃太阳"，官方则把日食当作老天对人间政治的"严正警告"，一旦发生了日食，民间只要是有村落或有人聚集的地方，都会有自发的"驱赶天狗"行动，比如击盆敲锣、高声喊叫、放爆竹等，试图把天狗吓跑。而朝廷对日食更为重视，每当日食发生前，先由宫廷天文历法家做出尽可能准确的预报，到日食发生这天，要由皇帝率领百官，在大殿前或祭台上举行隆重的救护仪式，有焚香、祈

祷、献祭、击鼓、放炮等，以把太阳重新召回，各级地方官员也有相应的救护仪式。因此，日食发生时，朝廷、地方的救护喧闹声与民间的仪式同时发作，活像是到了“全国哀悼日”。

唐代，天文历法家已经比较精确地掌握了太阳、月亮的运行规律，大致能够较准确地预测日食、月食了。开元年间，唐明皇李隆基即位后励精图治，国家正处于全盛时期，皇家天文台里，僧一行是“首席科学家”。开元十三年冬，李隆基按国事安排去泰山举行了封禅大典，大典结束后起驾回京，这时，经天文历法家们推算，正是李隆基回京途中的十二月初一，将发生一次日食。

既然有预告，日食又是这样的凶兆，李隆基马上就做出一系列反应，如“减膳”“彻乐”“养性”等，不但停止寻欢作乐，还下诏自责，做好准备在日食这天举行救护。

可是，好几天没捞着寻欢作乐，日食这天在途中又搭好祭台，率领百官把一切救护准备都做好了，天上圆圆的太阳就是没动静，李隆基不敢怠慢，就这么率百官一直等下去，直到太阳下山，日食也没发生。

按我们的想象，皇帝面对天文官的预报失误，应该是“龙颜大怒”，责令刑部对有关天文官进行治罪，愤怒之下砍掉几个脑袋也不是不可能的事。实际的情况恰恰相反，群臣、天文官一起上前称贺，说：皇上修德感动了上天，导致“当食不食”。因为封禅活动刚刚结束，八方来朝、参加祭祀的各国使者还在跟随，也都纷纷上前奉寿称庆，说：大唐天子的德行感动上天，我们对大唐王朝也更肃然神服了！听了这些话，李隆基龙颜大悦。

有没有这种可能：天文官知道自己没预报准，巴不得用这种办法来欺骗皇帝，欺骗众人，以免皇帝问罪呢？可以说，基本没有可能。当时的顶级天文学家一行，为这次“当食不食”说了这样两句话：“假如日食都不能由推算求出，就无法考核历法的精密与否了，但假如日食全都能由推算求出，那国家政治教化的好坏我们从哪儿看呢？”

也就是说，一行认为，统治者修德可使老天改变天体运行的途径。星占书上明确写道：“天下太平，虽交而不能蚀”，即：天下太平的年景，月亮走的路线与太阳相交，即使走在太阳前边，也会绕过去！

下面我们再分析几句具体的占辞。

月亮是离我们最近的天体，所以中国古代星占书中关于月亮的占辞很多，最常见的有“月离于箕风扬沙”和“月离于毕雨滂沱”。

“箕”是二十八宿之一，四颗星组成一个四边形，很像一只“簸箕”。“离”是“遭遇”的意思。“月离于箕风扬沙”是说，月亮一经过箕宿，地上就会刮风。可能是簸

箕能簸扬谷物，而一簸扬就会产生风，所以古人的这种联想就变成了一种固定的联系。清代进士李彦章有诗："月离于箕风扬沙，今朝休沐归早衙。枯天欲雪雁声急，禁寒勒住新梅花。"诗的后三句很好懂，诗人写自己结束早晨值班后，回到寓所，正是初冬时节，田野枯黄，阴寒欲雪，北雁南飞，突来的寒意使含苞的梅花都停止了绽放。至于第一句诗，只有了解一些中国古代天文星占知识的人，才能理解。

占辞"月离于毕雨滂沱"，是指月亮行走遇到毕宿时，地上就会下雨。毕宿也是二十八宿之一。古人常把两句占辞合在一起写入诗中，如南北朝诗人周兴嗣就有诗句"风动云入箕，雨至月离毕"。明白了"月离于毕"的典故，可使我们对《三国演义》中一段的故事有更深切的了解：第九十九回写曹魏将军司马懿率四十万大军征讨蜀国时，诸葛亮让手下的张嶷、王平二将带领一千兵士抵挡。两个人一听，吓得不敢从命。诸葛亮哈哈大笑着说："让你们去，自有我的主见：昨天我夜观天象(图 1-55)，发现月离于毕，说明必有连日大雨，山洪暴发，魏兵四十万将寸步难行。你们尽管放心前去，以逸待劳，等魏兵一退，我再派兵，还不是以一当十?"两人听了这话，这才茅塞顿开，放心地领兵前去。从这个故事可以看出，那时星占思想是多么让人信服，在军国大事上又是多么重要！


图 1-55　诸葛亮夜观天文

当然，"月离于毕"就一定有雨吗？地上下雨就一定是"月离于毕"造成的吗？谁都会根据经验说"不一定"，但传统的力量是强大的。在古代，无论是智慧过人的诸葛亮，还是世界级的大天文学家张衡、一行，没有谁从根本上怀疑过占星术。顶多有人对星占的效用发出些许疑问而已，如白居易的《偶然二首》之一(图 1-56)：

人事多端何足怪，天文至信犹差忒。
月离于毕合滂沱，有时不雨何能测？



图 1-56　"月离于毕合滂沱，有时不雨何能测？"

诗人论证说：社会人生这么陆

离变换，不必多怪，天上星体的运动是最可信的吧，还时常不准呢！“月离于毕”，地上该有滂沱大雨，有时没有雨，这该怎么解释？

月亮在天空运行时经常要与金、木、水、火、土五颗行星交会和掩犯。现在，如果发生月掩行星，天文爱好者都会争相观看这一罕见天象，但在古人看来，月掩行星是凶险、战乱的征兆。《汉书》称：“凡月食五星，其国皆亡：岁（木星）以饥，荧惑（火星）以乱，填（土星）以杀，太白（金星）强国以战，辰（水星）以女乱。”唐代李白在“安史之乱”时期作的《胡无人行》中有句“云龙风虎尽交回，太白入月敌可摧”，“太白入月”指月掩金星，星占家认为金星是“天之将军”，主西方，这里指定都长安的大唐，“太白入月”天象主天下有兵，西方得胜。

今天生辰星占学在世界各地仍然大行其道，但中国的军国星占学早已经衰落了。明清时期，西方天文学传进中国后，地球和五大洲的观念立刻把分野理论冲击得七零八落，地球那么大，天上的星宿怎么会只眷顾你们东亚那一小块地方呢？从此，传统天文历法对政治的影响也一天比一天降低了，清朝虽仿前朝设有庞大的司天机构，历法和天文仪器的精密度也达到历史最高水平，但朝廷对天文星占的关注只剩下一些象征意义而已。辛亥革命后，最后一个封建王朝覆灭，中国的军国星占学也都被同时“埋葬”，成了历史。

人文的天空——无“天”不成书

看中国传统天文学的原生态，我们知道天文星占在我国古代政治上起着举足轻重的作用。也正是因为如此，在“天人合一”思想的支配下，天文成了中国传统文化的重要组成部分，与其他文化领域互相制约和影响，几乎渗透社会生活的各个方面。

我们知道，“天文学”属于理科，可为什么称天“文”？最早使用“天文”一词的是《易经》：“仰以观于天文，俯以察于地理”。这里的“天文”指天空的现象，即天象。“文”是什么？文，纹也，指天体星座排列的纵横交错（星斗阑干）；“人文”的文，本义也是纹，我们看一些出土的早期陶罐，上面绘有一些花纹，这就是“文化”“文明”的最早萌芽。天空的日月星现象与人类文明的关系太紧密了，所以古人称这门学问为“天文”而不是“天理”。

笔者的导师席泽宗院士曾有句名言：“中国的历史典籍，可称是无‘天’不成书。”为什么这么说呢？中国最古老的一本书《尚书》在其第一章《尧典》开头就讲天文，“乃命羲和，钦若昊天，历象日月星辰，敬授民时”，其内容占总篇幅的五分之二。其他经书《诗》《礼》《易》《春秋》等，都有大量天文内容。

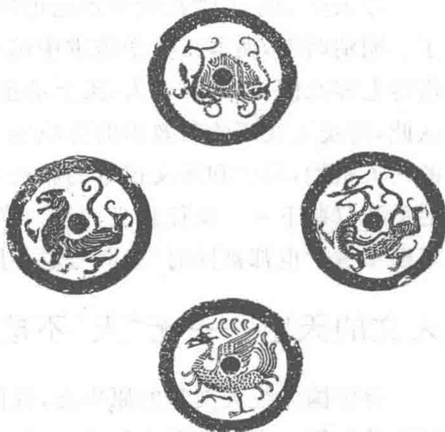
在中国历代编纂的“正史”中，有一个不可或缺的组成部分，这就是“天文志”

(《史记》中叫《天官书》),而且总是在各卷之首。历史上各种类书,把事物分类排列时,总是把“天”放在最开头。如唐代的《艺文类聚》,开头即是“天部、时序部……”,宋代《太平御览》,开头也是“天部、时序部、地部……”,甚至启蒙读物《千字文》(出自南朝),一开头就是“天地玄黄,宇宙洪荒,日月盈昃,辰宿列张,寒来暑往,秋收冬藏……”我们随便找来一些古籍翻翻,到处都可以看到天文的身影,以下我们从几个方面把这一现象做一些粗略介绍。

1. 星官的命名

中国星官体系有着丰富的内涵,在今人眼里是科学,在古人眼里是星占,在皇帝手里是政治,站在人文立场则是神话、历史、艺术与文学。

就说二十八宿吧,古人把它们均分为4份,称东方苍龙、北方玄武、西方白虎、南方朱雀(合称“四象”,图1-57),既对应春、夏、秋、冬四季星空,又对应东、南、西、北四个方位,笔者分析,古人可能是这样给它们取名的:


图1-57 四象瓦当

大约是在上古时,一个初春的黄昏,观星者站在旷野,看到正在东方闪烁的黄道星座逐渐飞跃在空中,正似一条腾云驾雾的神龙,便称其为“东方苍龙”;再仰望南天高挂的一串星座,想象它们组成了一只赤色神鸟在天上翱翔,就叫它“南方朱雀”;而西方星宿,如同一只猛虎咆吼施威,头朝后尾朝前,正要没入西天,称“西方白虎”;这时身后黄道的星宿无法看到——正在北天地平线之下隐没,人们把它们想象为蛇绕龟体的造型,称“北方玄武”。张衡曾这样形容:“苍龙连蜷于左,白虎猛距于右,朱雀奋翼于前,灵龟圈首于后”。

那为什么要把它们想象成动物呢?这也不是凭空来的,据天文史家陈久金研究,这与华夏民族的起源与融合有关。华夏地区最早有四个民族:东夷、西羌、南蛮、北狄。东夷分布在中国东部沿海地区,以龙为图腾;后来他们中间又分出了少昊民族,向南迁移,与南方苗蛮集团融合,形成以鸟为图腾的少昊族;古西羌民族在甘肃、陕西、四川一带,他们以虎为自己的图腾并逐渐东迁;夏人在夏王朝败亡之后,有的北迁高原成为匈奴之祖,有的南奔与越人融合,夏人以龟为图腾,越人以蛇为图腾,合成了蛇绕龟体的“玄武”造型。后来他们的图腾形成了天上四个方位的“四象”。

有一些星官是以历史人物、或传说中的历史人物命名的。其中最著名的是"轩辕"星官。轩辕氏即我们中华民族的共同祖先之一黄帝。黄帝可能真有其人，是父系氏族社会中原地区的一位部落联盟酋长。他通过战争，使中原各部落实现了联合。在故事流传过程中，人们在他身上集中了各种美德，把各种发明创造也都归在他身上，把他尊奉为带领中华民族从野蛮走向文明的人文始祖。所以古人把天上一个 16 颗星的大星官命名为"轩辕"。其中的一颗亮星轩辕十四非常有名，是黄道四大亮星之一，附近还是狮子座流星雨的辐射点。

在东方苍龙七宿的箕、尾之间，有一颗普通的星星，名"傅说(yuè)"。傅说(图 1-58)是一位真实的历史人物。商王朝中后期，第 23 任天子武丁即位，当时商朝中衰，他日夜都在思考着如何重振天朝声威，希望能发现一位贤臣，辅佐他的改革。一天，他睡觉时做了一个梦，梦见上天赐予他一位贤人，这个人称自己姓傅名说。武丁醒来后，对此人相貌记得真真切切。他想："我要有一位治理天下的好帮手了！"于是让画工把梦中之人的模样画出来，在全国寻找。后来终于在傅岩(今山西平陆)找到了一个人，这人就叫傅说，是个奴隶，正在与众苦力一起筑墙。武丁一见到这人的容貌，马上高兴地说："正是这个人！"两人一见如故，谈得非常投机。傅说见识不凡，证古论今，先劝武丁虚心纳谏，再陈述治国方略，其中"非知之艰，行之惟艰"成为传颂至今的名言。武丁立刻把他任命为宰相，主持朝政。


图 1-58　傅说塑像

傅说大权在握，立即实行"治乱罚恶、畏天保民、选贤取士、辅治开化"等一系列政策，使国家出现政治开明、国泰民安的局面，商代达到又一个极盛时期，史称"武丁中兴"。武丁和傅说也成了古代明君贤相的代表，被后人尊为圣人。就这样，傅说的大名升上了天空，跨在箕宿、斗宿之间，成为灿灿群星中的一员。用《庄子》的话来说，就是：傅说"相武丁，奄有天下，乘东维(在箕斗之间)，骑箕尾，而比于列星"。

傅说早年的艰苦经历，也被孟子当作"天将降大任于斯人也"的范例。平陆县从此别名为"圣人涧"，建有傅说庙、傅说墓，有一处高崖土层里有夯土的痕迹，还裸露出层层黑色的麦草，传说就是傅说当年版筑的遗址。

2. 民俗节令

民俗节令各民族都有，但汉民族在“天人合一”观念的指导下，特别崇尚“人是自然的一部分”“人与自然平衡共存”等观念，民俗节令有鲜明的天文特色。我们的先辈认为，天地人本源于一气，《黄帝内经》说：“春生、夏长、秋收、冬藏，是气之常也，人亦应之”，即人体与自然寒暑变化有相同的节奏，而中国人的传统节令一直都按照这样的节奏在进行。现代著名女作家冰心早年曾去美国留学，体验了美国人的生活方式后感叹：只有我们中国人，是在过着一种诗意的、与自然寒暑那么和谐的生活。

瞧，一年重要的节日就有春节、元宵节、春龙节、清明节、端午节、中元节、中秋节、重阳节等，每个节日都按季节的要求吃特定的应时食品、穿应时服饰、从事应时的游玩活动，完全按春生、夏长、秋收、冬藏的大自然节奏进行。

农历的正月初一，是中国传统节日中最重要的节日，称“元日”，它还有很多别名，如元旦、元朔、元正、元春、正旦、端日、岁首、新年等（“春节”是 1913 年北洋政府取的名）。唐人鲍防有诗《元日早朝行》，前四句为：

乾元发生春为宗，盛德在木斗建东。
东方岁星大明宫，南山喜气摇晴空。

乾指天道，元是开始，所以“乾元”意为“天道之始”，语出《易经》：“大哉乾元，万物资始”。四季变化是天道运行的结果，那么春天元日当然就是天道之始了。“斗建东”，即晚上日落后看北斗七星时，“斗柄东指，天下皆春”，是春天的一个重要标志。

二月二“春龙节”也是一个很重要的节日，苍龙七宿是古人用以定季节的重要星官之一。每年一到农历二月，太阳一落山，角宿就出现在东方的地平线上，农民就知道已经到了播种的季节。我国北方有两句民谚：“二月二，龙抬头；大仓满，小仓流。”龙抬头就是指苍龙的头（即两只龙角）从东方地平线上开始抬起来了。后来，农历二月初二就被定为“春龙节”，因为龙在天上主管云雨，龙一抬头，雨水就多起来了，这是马上要闹春耕的农民们最盼望的。

春龙节的来源是这样的：一次，玉皇大帝化身为一个乞丐，降临到人间，想看看世人的善恶之心，不料他去讨饭的第一家是个毫无怜悯之心的财主，不但不给他饭吃，还驱使看家狗来咬他。天帝大怒，以为世人个个如此，不可救药，马上回到天庭，传谕东方苍龙，三年内不得向人间降雨。

可想而知，三年不下雨，靠天吃饭的农民们，处境该是多么艰难！苍龙觉得天帝的做法太过分了，便违抗天帝的旨意，自作主张为人间降了一次大雨。顿时大地旱象解除，禾苗生长，百姓纷纷供起苍龙，称之为“龙王爷”，连天帝的神位都受

冷落了。

天帝终于知道了这件事，又勃然大怒，派人把苍龙抓住绑起，用一座“青龙山”压住，山口立一石碑，上面写道：“苍龙降雨犯天规，当受人间千秋罪。要想重登灵霄阁，除非金豆开花时。”

凡间的人们纷纷为苍龙鸣不平，可有什么办法呢？为了拯救苍龙，人们到处寻找开花了的金豆。一直到第二年的二月初二，又该春播了，人们正在翻晒玉米种子时，忽然想：这玉米就是金豆吧！把玉米炒一炒，它们就会爆成花，那不就是金豆开花吗？这种说法很快传了开来，于是家家户户爆起了玉米花，并在院子里设案焚香，向玉皇大帝供上开了花的“金豆”。

苍龙见百姓们用这个办法救它，也机灵地抬起头来，向天庭大喊：“金豆开花了，快放我回去！”天帝派千里眼向人间一望，果然家家户户院里金豆花开放。没办法，只好传谕召苍龙回到天庭，继续给人间兴云布雨。

从此，为感激苍龙降甘霖救万民的献身精神，民间形成了“春龙节”，每到二月初二这一天，就是苍龙抬头了，人们就爆玉米花吃，一边吃一边念：“金豆开花，龙王升天，兴云布雨，五谷丰登。”



图 1-59　二月二，龙抬头

后来，春龙节讲究越来越多。这天吃的很多东西都与龙挂上了钩，吃饺子叫吃“龙耳”，吃面条称作吃“龙须面”，烙的饼谓之“龙鳞饼”，捞的小米干饭叫“龙子饭”，吃猪头肉为吃“龙头”。二月初二理发称为“剃龙头”，会使人鸿运当头，福星高照。（图 1-59）

再谈几句中秋节。中秋节在农历八月十五，是我国仅次于春节的第二大传统节日，七、八、九三个月为秋季，八月十五正逢其中点，故名“中秋节”。到秋天，我国北方地区晴朗少云，“月到中秋分外明”，此时的圆月特别受到关注。宋代书法家米芾《中秋登楼望月》有云：

目穷淮海满如银，万道虹光育蚌珍。
天上若无修月户，桂枝撑损向西轮。

这首诗含有两个典故，一是古人认为珍珠的亮度变化与月的盈亏有关，二是“月由七宝合成”，天上常有八万二千户工匠不断给它修治以防毁坏。诗人想，天上若没有这些修月的工匠，月亮上的桂树早就把月轮撑裂了吧？诗人借传说咏月，为中秋之月增添了神话的色彩，使中秋之月更为迷人。

3. 天文神话


图 1-60　盘古开天辟地

关于天地的形成，中国很早就有盘古开天辟地（图 1-60）的神话，按南朝《三五历记》的记载，世界最早是一个黑暗混沌的“宇宙蛋”，有一个叫“盘古”的巨胎孕育其中，一万八千年后，盘古成熟，他挺身举斧，将这“宇宙蛋”一下子劈成两半，里面属阳的、轻而且清的东西纷纷上升，凝结为晶莹的天空；属阴的、重而且浊的东西慢慢下降，沉淀为厚重的大地。

此后，天每日升高一丈，地每日（向下）增厚一丈，盘古每天也增高一丈，始终顶天立地，就这样又扩展了一万八千年。最后盘古死了，但他身体的各部分，化作天地内的万物：两眼成为日月，须发成为星星，气息成为风云，声音成为雷霆，四肢成为东南西北四极，五体成为五岳，血液成为江河，筋脉成为道路，肌肉成为田地，汗毛成为草木，汗水成为雨露，牙齿骨骼成为矿产珠玉，寄生虫成为黎民百姓。后人甚至还设定了这颗“宇宙蛋”的起始位置：现在河南泌阳县南 15 千米有一座“盘古山”，据说就是当年孕育盘古、开天辟地的地方。

元朝大儒吴莱有诗《东吴行》：

我怀天地开辟初，乾动坤静焉能逾。
女娲断鳌立四极，鳌足峙峙交相扶。


图 1-61　女娲补天

诗人说，天地开辟后，天动地静的格局就无人能改变了，再加上女娲竖立的四个鳌足互相协助支撑天盖，从此天地越发稳固。后两句写的是“女娲炼石补天”（图 1-61）的故事：远古时代，诸侯共工与祝融争天下，共工被打败，他一怒之下用头撞倒了一棵擎天的柱子——不周山，顷刻间天塌了一角，大地也倾斜了，地上顿时水火泛滥。为挽救天地不致毁灭，女娲炼成五色石，补好了天上塌的部分，将天地扶正，随后她又砍掉一只巨鳌的四只脚，立在天穹的四个方位代替天柱支住了不稳固的天穹。天地位置虽然稳定了，但并没有完全回到原来的状态：天有些向西北倾斜，所以日月星辰都向西北落下，地则向东南凹陷，于是地上的雨水不再待在原地，而是条条汇聚，流向东南，积成海洋。

再看两则北斗七星的神话故事。北斗七星在天空排列得像一只大勺子，古人

把它想象成一只斟酒用的“斗”，因为它在北天，故名北斗。它周围没什么亮星，七颗星亮度又差不多，因此非常醒目，找到北斗七星就很容易找到北极星。

在中国古人们心目中，北斗是天帝的宝车，还是管人生死的星神，东晋干宝撰写的神异小说《搜神记》有这样一段故事：

有一个叫颜超的人，请占卜师管辂相面，管辂说：“你面相不好，有夭折之相。”颜超一听十分着急，便问有没有补救的办法。管辂闭目掐算了一会儿，说：“十天之后，你带上一大包煮好的鹿肉和一大壶清酒，去某某山中，有一棵大桑树，树下有两个下围棋的仙人，你什么也不用说，用酒肉服侍好他们就行了。”

颜超到这天带好酒肉赶到山中那棵大桑树下，果然有两个仙人在那儿下围棋，颜超悄悄近前，将酒肉摆在棋盘两边，自己则站在一侧观棋。这两个仙人沉溺下棋，不知不觉摸过酒肉就吃，不到半个时辰，就把颜超的酒肉吃光了。这时棋还没有下完，坐北边的仙人抬头一看，说：“你不是颜超吗？这酒肉是你的吗？”颜超恭敬地回答：“是。”仙人说：“你的寿数已尽，还来这儿干什么？”这时坐在南面的仙人发话了：“老哥，你刚吃喝了人家的东西，怎么可以这样无情呢，给人家增加几岁吧！”北边的说：“生死簿子都定好了，怎么增加？”南边的说：“你不好意思，我替你来。”说着，他向北面的仙人要来一个大账簿，翻开一页，上面写着：颜超，一十九岁。南面的仙人在“一”字上加了两笔，成了“九十九岁”。



图 1-62　颜超贿赂二斗神

结果，颜超后来真活到了九十九岁。原来，在北面坐的仙人就是北斗，南面的是南斗（二十八宿之一）。因为“南斗注生，北斗注死”，人的一生，都要从南斗手里过到北斗，所以北斗的簿子决定着人的寿限。（图 1-62）

北斗为什么能注定人间的命运生死呢？这种说法也是有根源的：中国古代，人与人来往很少、交通不发达、障碍危难极多，北斗成了人们平时出门判断方向的重要依据，于是人们把它当成指路救生的“灯塔”，作为神来崇拜。

再谈谈“魁星”，魁星（图 1-63）是北斗七星的前四颗星，是主宰世间功名禄位之神，中国很多地方都建有“魁星楼”或“魁星阁”，其正殿塑着魁星造像。没见过魁星像的人也许会想，既然魁星是主管功名科举的，一定是一位



图 1-63　魁星塑像

文质彬彬的白面书生吧？恰恰相反，魁星面目狰狞，金身青面，赤发环眼，头上还有两只角，右手握一管大毛笔，称朱笔，左手持一只墨斗，右脚金鸡独立，脚下踩着海中的一条大鳌鱼（一种大龟）的头部，意为"独占鳌头"，左脚扬起后踢，脚上是北斗七星。

魁星的故事是这样的：古代有一个秀才，此人聪慧过人，才高八斗，过目成诵，出口成章，可就是长相奇丑无比，所以屡屡面试时落第。他长得不但丑陋，还满脸麻子，一只脚还瘸了，但是他文章写得太好了，终于被乡试、会试步步录取，一次次高中榜首。到了殿试时，皇帝亲自面试他的文才，一看他的容貌和画着圈上殿的走路姿势，心中不悦，于是问："你那脸是怎么搞的？"他回答："回圣上，这是'麻面映天象，捧摘星斗'。"皇帝觉得这人怪有趣的，又问："那么你的瘸腿呢？"他又回答："回圣上，这是'一脚跳龙门，独占鳌头'。"皇帝很高兴他的机敏，又问："那朕问你一个问题，你要如实回答：你说，如今天下谁的文章写得最好？"他想了想说："天下文章属吾县，吾县文章属吾乡，吾乡文章属舍弟，舍弟请我改文章。"皇帝大喜，阅读完他的文章后，更是拍案叫绝："不愧天下第一！"于是钦点他为状元。

这个丑文人的才学、智慧和发奋，使他后来升天成为魁星。从此开始，皇宫正殿台阶正中的石板上雕有龙和鳌鱼图案，一只魁斗放在旁边，殿试完毕发榜时，应试者都聚到皇宫门前，进士们站在台阶下迎榜，状元则一手持魁斗，一脚站在鳌头上亮相，表示"一举夺魁""独占鳌头"。

另外，像牛郎织女、文昌帝君等很多神话故事，都与天文星象有关，限于篇幅，不再展开介绍。

4. 星月文学

也许是因为中国传统天文学的独特形态和在社会生活中的作用，在中国古代的文学作品特别是诗词歌赋中，有不计其数的天文内容。例如，据学者统计，唐代大诗人李白现存诗 1 059 篇，其中光是提到月亮就有 341 篇，算上写星辰、太阳、历法节令的，那就更多了。已故著名天文学家戴文赛，一位受过系统的传统文化熏陶的前辈学者，有感于中国古代文学作品中天文描写的浩瀚博大，曾立意把中国古典文学作品中有关日月星辰的篇章全部辑录成书，题名《星月文学》，但因工程过于庞大而未能完成。这里限于篇幅，也只能举几例来说明中国古代天文与文学这种奇妙的共存关系。

李白的诗《月夜金陵怀古》：

苍苍金陵月，空悬帝王州。
天文列宿在，霸业大江流。

诗中把"天文"与"霸业"连在一起，诗人不光是缅怀人事的改换，还感叹天文

（等于“天命”）的变迁，在古人眼里，天上列宿的安排与金陵（南京）城前的长江天险，对君王霸业是同等重要的——这是直接点出了天文的政治作用。

有些写天地宇宙的诗非常有气魄，如唐代白居易的《登香炉峰顶》：

不穷视听界，焉识宇宙广。

江水细如绳，湓城小于掌。

诗人站在庐山香炉峰顶，极目远望，才认识了宇宙之大，后两句十分精彩，简直是一幕颇具景深的电影俯视镜头。

宋人方回的《望大江》则是一首完全以天文为题材的绝句：

极目无穷六合宽，仰天如以浑仪观。

日躔箕斗逢长至，月宿奎娄届大寒。

“六合”即上下左右前后六个方位，这里代指天地乾坤，诗人仰观宇宙，浩浩无穷，如看浑天仪上的星宿。这天太阳走到二十八宿的箕、斗位置，正是冬至（冬至那天日影最长，故称长至），月亮走到奎、娄位置，正届大寒。

唐人李贺《梦天》中的句子更有气魄：

黄尘清水三山下，更变千年如走马。

遥望齐州九点烟，一泓海水杯中泻。

这是传诵后世的名句。作者在梦中从天上遥望人间，三座仙山下的陆地和海洋正更替着沧桑之变，这种需要上千年的时间的地质变迁，在诗人眼里，如同电影里的快镜头一样如骏马奔驰，看中国九州，小得如同九点烟尘；浩瀚的海洋，只不过像从杯子里倒出来的一汪清水。诗人暗含的意思是：时光的流逝，地域的大小都是相对的，只有运动和变化才是绝对的。

抒发宇宙疑问的诗词，最好的当属南宋词人辛弃疾的词《木兰花慢》：

可怜今夕月，向何处，去悠悠？
是别有人间，那边才见，光影东头？
是天外，空汗漫，但长风浩浩送中秋？
飞镜无根谁系？姮娥不嫁谁留？

谓经海底问无由，恍惚使人愁。
怕万里长鲸，纵横触破，玉殿琼楼。
虾蟆故堪浴水，问云何，玉兔解沉浮？
若道都齐无恙，云何渐渐如钩？

它几乎句句是问，是仿照屈原《天问》来写的。开头就问：中秋之夜，今晚这轮可爱的月亮，向西天坠去，落向何方？是不是遥远的西边有那样一处人间，那边才刚刚看到月亮从东方升起呢？那时的“浑天说”认为大地是平的，可如果大地是平

的，就不会有这种现象，可见词人通过大胆想象，已经认识到大地不是平的，而是球形或至少是弯曲的，近代学者王国维在《人间词话》中曾这样评价此句："词人想象，直悟月轮绕地之理，与科学家密合，可谓神悟。"

月亮为什么会东升西落？古人认为，是高空的风在吹动月亮向前走，词人对此也提出了疑问：天外浩渺无垠，一股浩浩长风把中秋明月送走了，月亮又没有绳子系住，怎么没有被吹得乱跑？月中的嫦娥怎么不出嫁，是谁把她留住的？

词人把有关月亮的神话传说和对月亮运行的一些想象交织在一起，又往下写道：月亮落入大海后，它是怎么从海底经过的？真让人莫名其妙，百思不解。海中巨大的鲸游弋翻腾，恐怕会把月宫中的宫殿撞坏吧？月中的蟾蜍会游泳，那玉兔不通水性，怎经得起海水的淹溺浸泡呢？如果说玉兔也和蟾蜍一样，顺利穿过海底，那么月亮本身怎么又出问题了，圆月渐渐变成如钩的月牙呢？

对文学作品我们无须苛求其科学性，但这首词的表述和疑问，却比较完整地折射出当时人们心目中的天地观念。通过这首词我们知道，那时人们认为月亮是被风吹动运行的、月亮是落入西海中经过海底再从东海升起的，词人还认为大地不是平的，有一定的弧度。从这个意义上说，这首词成了我们了解古人宇宙观念的重要史料。

李白有一首妇孺皆知的小诗《静夜思》：

床前明月光，疑是地上霜。

举头望明月，低头思故乡。

在古代，不光是怀念故乡，其他一些与怀念有关的情感，如怀念亲人、恋人、朋友，都常常在诗中用月亮来寄托。如唐代诗人张九龄的《望月怀远》写道："海上生明月，天涯共此时。情人怨遥夜，竟夕起相思"。明月与怀人、思乡，为什么会形成这样一种稳固而紧密的关系呢？原来，其关键是都在"共""同"二字。古代交通不发达，亲友相隔千里，就会多年音信全无，这样亲友就需要一种能够共同观望的象征物，在想象中传达和寄托相思之情。要想共同观望，只有月亮才能满足这种要求，月亮光线柔和，凄清幽美，又像一面圆镜，似乎可以映出远方的形象，所以成了最好的选择。当远隔千万里的亲友互相思念时，只要"举头望明月"，大家的视线都在月亮上相交，就会感到"天涯共此时"，月亮就这样帮助人们在心理上缩短了地理上的距离。

古代诗歌中经常提到太阳的运动以及相关的时辰、节令，宋元时代诗人方回有一首诗，把太阳的运动写得非常生动、形象，诗的全文是：

北极地上三十六度出，南极地下三十六度入。

四海之内居中国，不见南极见北极。

东生西没一轮日，西没昏黑月生白。

春分秋分昼夜中，天上地下度数同。

地上天少日晷短，子月日南而北返。

地上天多日晷长，午月日北而南行。

四时成岁岁如此，日南日北而已矣。

一百八十度有奇，不过一往一来耳。

或谓四游升降殆不然，所以景祐新书删其篇。

诗题为《己亥十一月二十一日长至前一旬书》。按方回的生活时代，这是公元1299年12月14日的冬至。诗人深感于日、地运动的奇妙，遂写下这首诗。“北极地上三十六度出”指北宋首都汴梁看到的北极高度；诗又写了太阳的“东升西没”；然后写到春分、秋分，因为此时昼夜平分，所以太阳做周日视运动时，在天上走过与在地下走过的度数是相同的；随后是冬至、夏至，“地上天少”指白天短的季节，这时光照时间较短（“日晷”代指日光照耀的时间），太阳在冬至月（子月）由最南开始向北返回，到夏至月则反其道而行之，周而复始，总在南北间移动，形成四季；太阳从冬至走到夏至时，恰走过半个圆周，我国古代把一个圆周分成365又1/4度，所以诗中说太阳走了“一百八十度有奇”（奇，零头）。诗最后说，大地在四季中会做升降俯仰动作这种观念，有人认为不正确，所以《景祐新书》中删掉了这种说法。《景祐新书》即《景祐乾象新书》，是北宋景祐年间出现的一部天文星占著作。

这首诗描述了天球倾斜、太阳周日视运动、四季的昼夜长短、太阳周年视运动、周天度数，以及“地有四游”假说等内容，等于是一首专门论述日地运动的“天文诗”。

再看北宋王识的词《水调歌头·观星》：

一雨洗空阁，象纬迫人清。

披襟台上坐看，北斗正旋衡。

知是南宫列宿，初出极星未远，龙角正分明。

河汉余千里，风露已三更。

坐未久，书帙散，酒壶倾。

凉生殿阁，泠然邀我御风行。

拟欲乘槎一问，但得天孙领略，安用访君平。

莫笑儒生事，造化掌中生。

王识精通星历，曾编制星历书册、自制浑天仪、绘制多幅浑天图等，可惜这些作品都没有流传下来，他流传至今的唯一作品就是这首《观星》词，不过从这首词

中我们已经可以感受到他的天文素养、高远襟怀和探索精神了。

这首词意境开阔、清丽飘逸、寓意深远，在抒发情怀的过程中，词人不露形迹地融入了象纬（一般指日月和五大行星，这里可能泛指星象）、北斗、南方朱雀、极星、龙角、银河、天孙（织女星）等天体和星座名称，词中的天文术语与文学词汇浑然融合、天衣无缝，如果作者不是精通天文的行家，只是一个普通文人的话，是难以写出这样词句的。

"乘槎"几句典故出自晋代张华的《博物志》：古人认为银河是通着大海的，于是蜀地有一个人，做了一个筏子（槎）浮海而去，希望能到达银河。后来他果然来到一条河上，右岸是一座豪华宫殿，一位美女在用织布机织布，左岸有一名男子正在给牛饮水，蜀人上前还与牵牛人搭了几句话。后来他回到蜀地，遇到一个叫严君平的星占家，说起这场奇遇，严君平翻了翻他的本子，说："我这儿有记录：某年某月某日，有客星犯牵牛。"记录的正是蜀人和牵牛人说话的那一天。原来蜀人到达的是天河，见到的是天庭、织女和牛郎，他自己那一刻也成了"客星"。（图 1-64）



图 1-64　蜀人乘槎会牛郎

王识引用此典故，意思是说：我想乘风遨游天空，泛舟遍览银河，去探索天上的奥秘，但愿能够直接领略织女等星的星象规律，何必再去寻问严君平这种人呢？词句中隐隐透出一种科学精神。后两句说得更明白：请不要笑话我这一介儒生对天文的追求，我相信我是能够掌握大自然规律的。

中篇：近代篇

理性光芒照耀天地



一、地心与日心体系的交接

在人类的思想和观念的演进中，哥白尼日心说的出现是历史上最大的一道分水岭，日心说不只是一个天体运行模式的转变，更是整个人类观念的巨大变更，它否认了人类在宇宙中的特殊地位，并将科学从神学中解放出来。人类对世界看法的转变，带来社会几乎所有领域的革命，从此人类社会从“古代”跨入“近代”。

地球不是宇宙中心——哥白尼革命

托勒密地心说在历史上曾起到非常积极的作用，因为它否认地平说、否认上帝的意志，所以直到 1215 年仍遭受教会的严令禁止。格里高利九世成为教皇后，觉得教会过去的宇宙观念太简单了，连众神居住的天堂都非常土气，他非常欣赏托勒密的宇宙体系，便将其吸纳，并在托勒密“最高天”外加上“晶莹天”“净火天”作为天神的住所。从此，托勒密地心体系成了中世纪神学世界观的一个支柱。我们从但丁的《神曲》中可以体味到基督教世界与这个体系密不可分的关系。

1. 早产的日心说

随着航海天文定位等等的需要，天文观测精度逐渐提高，人们发现，按托勒密体系推算的天体位置总难以完全符合观测的结果。为了满足观测数据，天文学家就不断修补托勒密模型，本轮上再套本轮，加来加去，使这个模型的圆圈多得离谱。于是有人开始怀疑，上帝创造世界时，干吗把这个世界搞得这么烦琐？可是在教会的权威下，这个体系几百年一直神圣不可动摇。16 世纪，终于出现了第一个不经教会同意就敢独立思考的人。



图 2-1　哥白尼自画像

尼古拉·哥白尼（Nicolaus Copernicus，图 2-1），1473 年出生于波兰。波兰当时是欧洲强国，


图 2-2　哥白尼在观测

势力部分覆盖了今德国、立陶宛、乌克兰和俄罗斯部分地区。他于 1491 年进入克拉科夫大学学习教会法律，成为一名教士，从此终生都在教会任职。1496 年他到意大利学习，开始深入钻研天文学（图 2-2），逐渐形成了他的宇宙学说。1503 年，哥白尼回到波兰，在进一步的研究中提出了宇宙以太阳为中心的假设。

哥白尼是个平静、温和而慎重的人，而且是教会中得宠的一员，托勒密地心说是基督教世界观的主要支柱，谁敢怀疑这个体系的正确性？哥白尼担心由于他的学说会与教会发生严重冲突，同时也担心社会的偏见对他有妨害，后来他说："我生怕我的学说新颖而不合时宜，会引起别人的轻蔑，因而几乎放弃了我的计划。"为使人信服，他必须反复论证，将他的论点建立在坚实的基础上。所以，他用了"将近四个九年的时间"来测算、补充、修订他的学说。他的一些朋友，包括红衣主教，都读到了他私下传抄的小册子，朋友们劝他快点发表，红衣主教甚至愿意出钱帮他早日出书。但哥白尼知道自己是在冒天下之大不韪，所以还是一直到 1543 年临终前才出版了《天体运行论》一书。据说他拿到印好的书时，已然处于弥留状态，只摸了摸书的封面就与世长辞了。

《天体运行论》用拉丁文写成，哥白尼在书中首先陈述了自己的宇宙学说。他说："在所有的行星的中心居住着太阳，在这个位置它可以一瞬间照亮整个宇宙。对于这最壮丽的神殿，谁能将这盏明灯安放到另外或更好的地方？""如果把行星的运动和地球的运动联系起来，不但行星的现象是一种自然的结果，而且一切行星的次序和大小，乃至高天本身，均表现出秩序与谐和。"哥白尼宇宙体系的基本观点如下：

①太阳是宇宙的中心，行星在不同轨道上环绕太阳做匀速圆运动。

②地球是一颗普通行星，月球是绕地球旋转的卫星；离太阳最近的是水星，其次是金星、地球、火星、木星和土星。

③天穹不动，因地球自转而造成视运动，并形成昼夜的交替。

④恒星的距离十分遥远，在土星之外的"恒星天"上。

行星运行的方向有时向东（顺行），有时向西（逆行），这一直是地心说处理起来棘手的问题（看看图 1-19 所示托勒密体系中那几个僵硬而不可理喻的平行箭头吧），哥白尼指出：因为地球也在运动，我们身在这个运动平台上观察，行星逆行

的原因就一目了然了(图 2-3)。《天体运行论》的绝大部分都是庞大复杂的数学证明,俨然又一部《至大论》。为了说服世界,他必须这样。因此他的体系在推算天体位置上,与托勒密的体系同样有效。



中心是太阳,围绕太阳的同心圆是行星轨道,与行星轨道内、外切的小圆是月球轨道,月球轨道中心是地球。

图 2-3　哥白尼日心说模型

哥白尼在书中专门提到古希腊菲洛劳斯、赫拉克利特、阿利斯塔克关于地球运动的玄想,以减轻时人对他的指责,这也说明他广泛吸收了前贤的伟大思想。

在哥白尼的时代,也有人提出过类似日心说的主张,但因缺乏周密的论证,因此不被人注意。

好多人只会在海面上掀起一些浪头,那效果看似波澜壮阔,其实只是一些皮毛表现,而革命者却从不屑于这样做,他们总是要从海底掀起一场海啸,哥白尼正是如此做的。不过,哥白尼学说是个“早产儿”,出版之后很多年,并没有出现他生前意料的那种排山倒海的“革命”和呼啸而来的指责。

2. 刚愎自用的日心说

哥白尼在他的论点中抛弃了一个先人之见,即“天”与“地”质的差别。他把天上的行星与地球同等看待,认为天空和大地是同一质料组成。正是这个大胆的见解,引发了后来科学、思想上的一系列革命,史称“哥白尼革命”。

日心体系的巨大颠覆意义,哥白尼自己心知肚明,别人却不一定都这样敏感,连有的教会高层人士都对此始料未及,不然红衣主教就不会出钱催促哥白尼早点出书了。许多天文学家只把这本书当作编算行星历表的另一种方法。怪不得有这样一句名言:“一本书最好的读者是它的作者。”随着时间的流逝,他的体系开始传播,在社会上的影响日渐加深。教会发现:哥白尼体系如果是为推算天体位置虚设的也就罢了,如果是真的,那么这样一幅天体运行的图景,神学的天国将置于何处,神学世界观的支柱岂不要被动摇?后来,因布鲁诺和伽利略等人广为宣传日心地动说,教会越来越为之不安。《天体运行论》出版 83 年之后,终于被教会列为禁书,一禁就是 200 年。

单纯从科学理论的角度讲,哥白尼体系也是大胆、新颖而刚愎自用的。按科学发展的规律,一般来说,只有在更精准的观测事实的基础上才能改造旧理论,而哥白尼时代尚无更精密的仪器,所以哥白尼做到的只能是继承前人的圆运动和部分本轮系统,因此哥白尼模型虽比托勒密模型简单,但也十分复杂,至于对天体位置推算的精确度,则并不比托勒密更高明。对种种关于地球运动的诘难,哥白尼

有他的答复。有人问：如果地球转动，浮在空中的物体，如云、鸟等岂不会被甩在了后面？哥白尼回答：空气与浮在空气中的一切物体均与地球一起转动，所以不会有什么东西被甩在后面。有人又问：沉重的地球若飞转起来，岂不要分裂四散？哥白尼回答：天、地是同一物质组成，巨大天球的飞转更是不可思议。有人说，地球在运动，为什么我们测不到恒星的视差？哥白尼回答：恒星天离我们极远，现有仪器尚测不出视差。也就是说，哥白尼并没有为他的日心假说找到任何科学证据，唯一的证据是：如果用地球行星绕太阳转、地球自转来解释天体的运动，一切就简单多了，这是最有美感的模型。

哥白尼就是这样牢固地坚守着自己的信仰。直到后代一天比一天增加的事实证实了他的体系的正确性。

这就是人类眼中大自然的“变迁”：远古，大地是平的，古希腊时期，大地被毕达哥拉斯“抟”成圆球；1543 年，地球又被哥白尼“推动”转起来了。

3. 大地是球形的最后证明

哥白尼时代正是欧洲人大探险的时代，探险家的扬帆远航最后证实了古希腊人提出的“大地是球形”的观念。

1492 年 9 月 9 日，意大利人哥伦布(C. Columbus)受西班牙国王之命，率领 87 人乘三艘轻帆船西行，进行生死未卜的伟大探险——过去的探险家为图保险，都是平行着海岸线航行，而这次是垂直着海岸线航行，故称“生死未卜”。这群人中有亡命之徒、前盗匪、不愿蹲监狱的在押犯，有渴望发财的人，当然也有为民族开拓生存空间的深谋远虑者。哥伦布按托勒密书中的地球大小数据，以为向西航行 3 500 海里就能到达亚洲。船队在大西洋的风浪中航行了 30 天后，毫无见到陆地的迹象，于是船队被同行者劫持，劫持者威胁哥伦布，称再走一天看不到陆地就得返航，否则就要把他杀死。但恰恰在第二天，船队发现海上漂着嫩树枝、小木棍等东西，第三天，他们到达了一片新的陆地。

如今，这片新大陆叫“亚美利加”，而不叫“哥伦布”，因为哥伦布一直到死都认为他到达的是印度，并称当地土人为“印度人”(“Indian”，为与真正的印度人区别，汉语将其译为“印第安人”)，并认为他曾到达的一个大岛是日本(实际是古巴)。而一个叫阿美利哥的西班牙人证认：这是一片未知的新大陆。因此这片大陆就用阿美利哥的名字命名，被称作“亚美利加”了。仅南美洲的一个国家用哥伦布的名字命名为“哥伦比亚”。



图 2-4　费南多·德·麦哲伦

1519 年，葡萄牙人麦哲伦(F. Magellan，图 2-4)在西班牙国王的赞助下，共 265 人乘 5 只木帆船，向

西试图环球航行。在南大西洋，麦哲伦的一个同伴发现了两个星云，被后人一直称作麦哲伦星云。在毫无标志的太平洋上，麦哲伦走着走着偏了北，来到了马里亚纳群岛。如果再往前，他就会到达朝思暮想的中国，可是从马里亚纳出发他又走得偏南了，来到菲律宾群岛。在这里，他在与当地土著的一次冲突中不幸被杀。1522年9月，只剩一条船的船队在麦哲伦追随者的带领下，有18人回到西班牙(后又有两批共16人回来)。此次壮举彻底证实了大地是球形的(图2-5)。



图 2-5　麦哲伦航线

据说，最先环绕地球一周的人是麦哲伦的奴仆、马来人恩利基。他生长于苏门答腊，后来西行到了欧洲，跟随麦哲伦航海。航行到印尼的棉兰老岛附近时，他听到了他所熟悉的当地人的土语，高兴地说:我已经绕地球一周回到故乡啦!

诗人歌德曾说:“哥白尼学说撼动人类意识之深，自古以来无一种创见、发明可与伦比。当大地是球形被证实以后不久，地球为宇宙主宰的尊号也被剥夺了。自古以来没有这样天翻地覆地把人类意识这样倒转过来的。”是的，从此科学从神学中解放出来，大踏步地前进了，人类创造了比“希腊人的奇迹”更伟大的“基督教世界的奇迹”。天文学也随着宇宙观的革新、近代科学的发展，走上了一条康庄大道。一个全新的宇宙即将展现在人类面前。

两颗超新星——第谷和开普勒

前面提到，哥白尼大胆而刚愎自用的天才观念超越了他的时代，所以虽然临终才出版了他的《天体运行论》，但还是出得早了一点。他的日心说公布于世后几十年，除了常被天文学家用来编制星表之外，并未引起海啸般的“革命”，直到天文学界两颗“超新星”的出现。

这两颗超新星就是第谷和开普勒，他们二人属于两代，两人不期然而相遇，各具不同的禀赋，优势互补，一个靠传统方法的精密观测，一个靠大胆奇异设想验证。通过他们两人间接与直接的努力，终于，哥白尼学说得以弘扬和发展，行星运动的理论也得以彻底革新。

1. 第一颗超新星——第谷

第谷·布拉赫(Tycho Brahe，图2-6)在哥白尼去


图 2-6　第谷·布拉赫

世的第三年(1546年)出生于丹麦的一个贵族之家。他身为贵裔，无需求职谋生，但第谷出于天性，从幼时就勤奋好学，一生勤勉观天，做出了许多重大贡献，并创立了著名的宇宙体系——第谷体系。

1572年11月11日的晚上，第谷发现天顶附近的仙后座有一颗新星出现(实际是"超新星"，但当时尚无此概念)。很快白天都可以看得到了，3周后，才慢慢变暗，直到17个月后，才从人们的视野中消失。过去每当出现这样的天象，人们就以为是空气中又有什么东西燃烧发亮了，从来没把它们当作恒星。但第谷用他的仪器测定多日后发现它毫无运动，也没有测得出的视差，这不可辩驳地说明此星极远，当在恒星天，是一颗"新出现的"恒星。第谷的这一发现打破了亚里士多德以来传统的"天体不变"信条，使当时的科学界大受震动，称这是"自然界最大的奇迹"。从此他决心专门从事天象观测，编制精密星表以便于发现和测定更多的这类天体。此超新星史称"第谷超新星"。

新星和超新星都是由于爆发而突然增亮的恒星，新星的增亮可达几万倍，超新星是大质量恒星晚期的一种毁灭性大爆发，能增亮千万至上亿倍。500年来银河系只爆发过两颗人类可观测到的超新星，就是本节介绍的两颗。

彗星，西方称comet，意指"毛发"，从词源上看，毫无"星"(天体)的意义，西方一直认为彗星是大气的一种燃烧现象，新星则是不动、无尾的彗星，都属于气象(但中国则一直称之为星，如彗星、客星、孛星等)。第谷对这种解释产生了怀疑，1577年，一颗明亮的彗星出现，第谷对这颗彗星做了大量追踪观测。他发现，彗星距离地球无论如何也要比月亮离我们远得多，其大小的变化又说明其远近的变化极大，这说明它穿过了亚里士多德设想的坚硬水晶壳。后来他发布了一份详尽的观测报告，否定了彗星是云气燃烧的观点，也撼动了亚里士多德的"水晶球"理论。

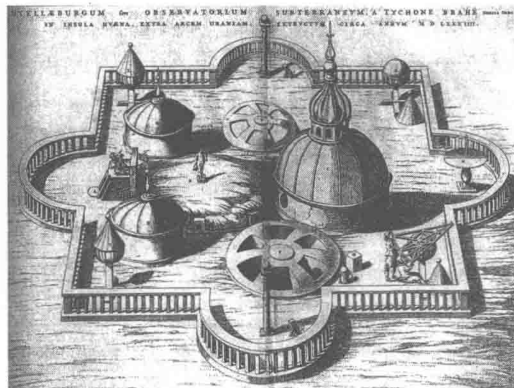


图2-7 第谷的"观天堡"

第谷受丹麦国王菲特烈二世的赏识，1576年在一个叫贺芬岛的海岛建起一座天文台——"观天堡"(图2-7)。这个天文台在当时是世界一流水平，所配置的天文仪器庞大而精密。第谷经过一段时间的辛勤观测发现，按以前理论推算的行星位置与他实测的结果大不相同，这使他认识到，要想精确研究天体运动，必须做长期精密的观测。从此，第谷在

观天堡持续观测了 20 年，其记录精度达到了人类肉眼观测精度的极限——1′。通过观测，他发现了黄赤交角的变化以及月亮运行的一些复杂分项，很多工作为近代天体力学打下了基础。

观测的新发现使第谷抛弃了亚里士多德-托勒密体系。但是，他不想接受哥白尼体系，这并不是由于宗教方面的顾虑——当时教会尚未宣布哥白尼体系是邪说——而是他认为：在有可靠的感觉经验和观测证据以前，不能轻率地接受"日心说"这种靠无拘无束的想象力产生的不成熟的理论。于是他提出了一个独特的宇宙体系——第谷体系（图 2-8）。在这个体系中，地球在宇宙中心静止不动，月球直接围绕地球转动，水星、金星、火星、木星和土星依次围绕太阳转动，太阳又围绕地球转动。最外面不远是一层安然不动的恒星天。

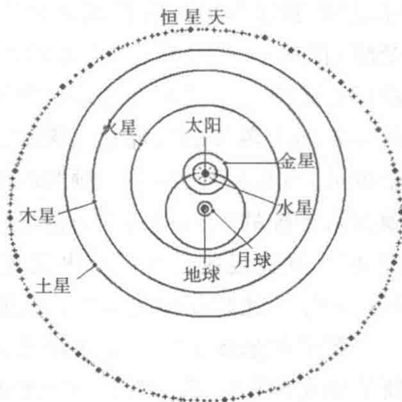


图 2-8　第谷体系

第谷体系看似生硬荒谬，但它的出现绝非偶然，它是实证思维的必然产物。第谷以当时最精密的仪器、最有经验的天文观测家的观测证实：恒星没有视差。如果日心说成立的话，恒星天一定在土星以外极远极远处，视差才能小到测不出的程度，那么就恒星目前的亮度而言，它们的体积一定极大，可能比太阳还要大、比托勒密的宇宙还要大……这样的宇宙太不可想象了。另外，他无法想象沉重地球的快速运动，而几乎没有重量的太阳和行星更可能是这样角色。如果让地球不动，就免去了这许多麻烦，一切都完全符合观测了（包括后来伽利略发现的金星盈亏，都可以用第谷体系来解释）。这个紧凑安宁、无懈可击，但就是缺乏美感的宇宙体系在欧洲曾有很大影响，在中国清代尤盛极一时。

第谷性格粗暴傲慢，曾因学术问题与人争辩，最后发展到决斗，鼻子因此被对方一剑削掉，后来只好装上个金鼻子。他虽得到丹麦国王的赏识，却不知何时得罪了王太子，所以国王菲特烈二世死后，他只好离开了观天堡。听说奥地利国王鲁道夫二世爱好天文，第谷便去投奔他，但不久第谷就去世了——1601 年，他因为在一次宴会上尿憋得太久而死于其后的并发症（那时在宴会中途上厕所是极度丢人的行为）。这之前，他结识了开普勒，开普勒应该是他一生最重大的"发现"。

为了纪念第谷的贡献，人们把月球上最壮观的一座环形山命名为"第谷环形山"（图 2-9）。



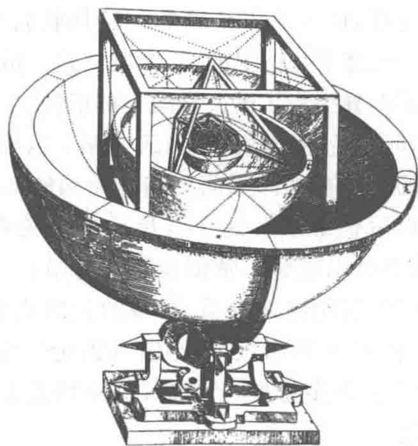
图 2-9 月球上第谷环形山的位置

月面上较大的环形山是 1651 年意大利的里奇奥利(G. B. Riccioli)最早命名的。因为里奇奥利不信日心说,欣赏地心体系和第谷体系,所以命名的哥白尼、开普勒环形山都较小,特别是伽利略环形山,更是小得可怜,孤零零地在风暴洋边缘。他把最壮观的一座环形山(在南半球)留给了第谷,把托勒密放在月球正中心,他自己和他的弟子则享用了两个大的平环形山的命名权。后代天文学家居然沿用了这些名称。

2. 第二颗超新星——开普勒

约翰·开普勒(Johannes Kepler,图 2-10),1571 年生于德国符腾堡。他生来性格就与众不同,特立独行,而且有神秘禀赋。青年时期他任中学数学教师时,开始研究天文学。开普勒信奉哥白尼学说,特别专注行星到太阳的距离,认为这些距离之间有内在的和谐性。1596 年,他出版《宇宙的神秘》一书,提出行星轨道的正多面体模型(图 2-11)。这一模型富于想象力,也充满数字神秘主义色彩,他自己非常满意这种安排,但后来随着新行星的发现,此模型变得不能自圆其说。


图 2-10 开普勒


图 2-11 开普勒的行星轨道正多面体模型

这本书流传到丹麦,第谷读到后发现此人有惊人的创造力,便邀请他来观天堡访问,但因路途遥远,贫穷的开普勒无法成行。幸而第谷很快因国王去世、受太子排挤离开丹麦去了布拉格,二人得以相见,随后开普勒成了第谷的助手。这次双星交会是天文学史上的一件幸事,第谷大量长期而精密的观测资料与开普勒天

才而又神秘的头脑结合，应该有不同凡响的结果出现。由于两人性格不同等原因，最初第谷不想让开普勒分享他的成果，但他又没有继承人，开普勒最后还是接管了第谷的全部观测资料。

第谷死后，开普勒出版了空前精确的《鲁道夫星表》。直到18世纪中叶，它仍是天文学界的标准星表，航海家也把它视为至宝。

随后长达二十多年，开普勒一直在沉浸在第谷的观测资料中。他钻研起来极为专注、坚持不懈。第谷在世的时候，就称赞开普勒这种致力于思考、完全不理会外界干扰和非议的宁静心理，“几乎是一种超人的品质”。根据这些观测资料，开普勒从各种可能去分析行星的轨道，他当然不局限于圆运动、均匀运动之类的先人之见。分析到火星时，他发现如果火星轨道是圆形，无论怎么安排，其位置都会与观测资料有偏差，最大会差到8′，难道是第谷测得不准？开普勒认为：“他花了35年的时间全心全意地进行观察……我完全信赖他。”随后开普勒开始怀疑行星轨道是圆形的传统见解，于是他放弃纯几何方法，改用物理角度研究太阳如何维持行星转动。他设想太阳有力线源源不断向外发出，像车轮辐一样越远越稀，太阳旋转时，力线拨动行星运动，显然力线越稀，作用力就越弱。他又设想太阳有强磁场，行星远时受太阳某一极的吸力，近时又受另一极的推力，等等。从这些设想他推测行星轨道可能是卵圆形，最后他发现椭圆轨道最符合观测数据。最后他确定：行星绕太阳运行的轨道是椭圆形，太阳位于其中一个焦点上。

这样，诸多令人头晕的本轮均轮就都可抛弃了，太阳系中行星、月球轨道的7个椭圆代替了哥白尼的34个圆。这一成功的简化大大鼓舞了开普勒，他说：“就凭这8′的差异引起了天文学的全部革新。……我能来到第谷身边，这是神的意志。”

1609年，他出版了《新天文学》，其中除上述结论外，还有第二条结论：行星与太阳的连线在相同时间内扫过相同的面积。

以后他继续沉迷于行星距离的关系探求，认为其中必然包含和谐的天体音乐，从中可以理解上帝创造宇宙的用心。他苦苦寻找了10年，终于得出了行星的公转周期与距离的关系：行星的公转周期的平方与其轨道半长轴的立方成正比。1619年，开普勒出版了《宇宙和谐论》，书中探索了许多奇怪的课题，这个结论是其中之一。

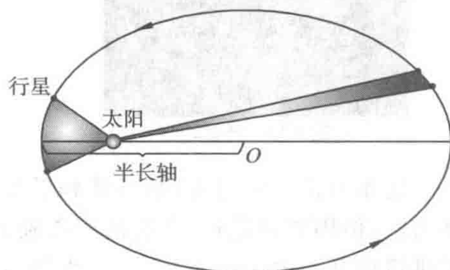


图2-12　开普勒三定律示意

随着时间的流逝，这位伟人的许多冥思玄想都已成为历史，唯有上述三个结论屹立不倒，一次次地被证实，成为牛顿力学的理论基础，因此后人将之称为“开普勒三定律”(图2-12)，开普勒也被

奉为“天空立法者”。

开普勒终生为寻找宇宙的和谐而奋斗，把它看作天文学的灵魂和生命，但不知为何却没有将他的椭圆运动定律应用到彗星上去，错失了这个“和谐”规律的发现，更没有多想椭圆、抛物线、双曲线之间的“和谐”关系。由于他时常陶醉于天球音乐一类的玄想中，以至于同时代的伽利略都认为开普勒的理论没什么重要性。他首次用月亮的“引力”来解释潮汐现象，也被伽利略斥之为星占思想。当然，思想神秘的开普勒确实是一位星占术的忠实信徒，但他对潮汐的解释后来被证明是正确的。

就在第谷超新星爆发后的 32 年，又一颗超新星在蛇夫座爆发，这是近现代天文学史上唯有的两颗超新星，开普勒对之做了大量观测，并撰写了《新星》一书。此新星史称“开普勒超新星”。继第谷证认彗星是天体后，开普勒在《彗星论》中，第一次提出彗尾是由于太阳光驱逐而形成的。

这就是天文学界的两颗超新星风云际会、传承创新的传奇经历。与第谷不同的是，开普勒一直是平民，只好靠星占谋生，天文研究反成了“业余工作”，所以一生病弱贫困。而且他的思想太玄奥高深，很少有人能读懂，更很少有人能接受。

到了晚年，开普勒手臂半残，视力衰弱，妻死子病，非常凄凉。时人靠时尚平庸即可得到优厚的待遇，而天才的开普勒从发现真理中获得的只有自己精神上的慰藉。1630 年，他去首都索取多日未发的薪水，跋涉途中染病而死。

法国学者尼古拉·威特科斯基（N. Witkowski）在其《感伤的科学史》中对开普勒做了这样的评价：

> 开普勒足以使实证论的信徒相形见绌，使坚信科学直线发展的人目瞪口呆，也招致信守神圣科学方法的人指责。他生前就被视作无法归类的人物，体现了思考现代科学开端的全部艰难。他不具备后来“科学家”的任何特征，既不是牛顿那样杰出的数学家，也不是笛卡儿那样的思想深邃的唯理主义者，仍然是迷失在 17 世纪的异态文艺复兴的人物，一个巴洛克风格的博学者，而且有深厚的宗教意识，相信自然现象后有上帝之手。但他眼光极其敏锐，而且具有令人困惑的现代性。在科学理性之路的几个关键阶段（解释望远镜看到的不是幻象，提出行星三定律等），在他手中不过是一场智力游戏的结果，且不乏预感和美学的动机。没有人比他更好地体现了文艺复兴的魅力向启蒙运动曙光的过渡了。

殉道者——一个需要英雄的时代

16、17 世纪之交，意大利出现了一位杰出的人物，在第谷和开普勒师徒二人靠行星运动理论的革新发展了哥白尼学说之时，他则使用新工具——望远镜扩大

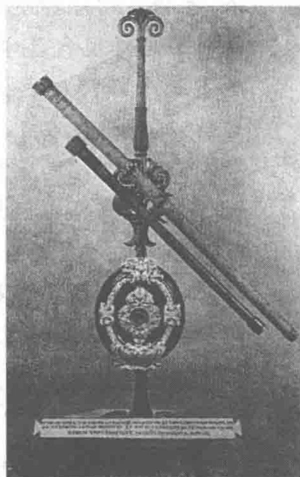
了天文学的观测视野，大力普及和弘扬了哥白尼学说。他，就是伽利略。在天文学研究手段的演进中，望远镜的出现是最大的分水岭，从此天文学由古代跨入近代。但当时社会对伽利略伟大贡献的回报既不是奖金，也不是鲜花和掌声，而是审判和迫害，几乎使他以身殉道。而另一位宣传哥白尼学说的科学家布鲁诺则成了真正的殉道者。

欧洲伟大的文艺复兴运动方兴未艾的1564年，文艺复兴三巨人之一的米开朗基罗最后一个谢世。就在这一年，伽利略·伽利莱(Galileo Galilei，图 2-13)诞生于意大利比萨，莎士比亚诞生于英国沃里克郡。


图 2-13　伽利略

伽利略姓伽利莱，但习惯上一直称他为伽利略，正如第谷·布拉赫姓布拉赫，我们也一直称他第谷一样。青年时期的伽利略身材矮胖，红头发，善于雄辩，很早就显露了杰出的科学天才。16、17 世纪之交时，地中海是世界的中心，意大利则是地中海的中心。从莎士比亚的《威尼斯商人》中我们可以感觉到这个民族很讲求实际，但也有做事诡秘、转弯抹角的特点。

从 25 岁开始，伽利略即先后担任比萨大学和帕多瓦大学的数学教授，46 岁以后则一直是托斯卡尼大公的御前学者。早年，他发现了摆的等时性、发明了温度计，在动力学和实验方法上都做出了里程碑式的贡献。据说，他在比萨斜塔上当众演示了一磅和十磅两个铁球同时落地的实验，证明了亚里士多德“十磅的落体比一磅的速度快十倍”论断的错误。按照亚里士多德力学，物体运动需要持续的推动力，反对地动说的人问：谁来推地球呢？伽利略通过斜面实验等发现，物体靠惯性运动。他还指出：地球、日月行星和地面上的普通物体都有一样的运动规律。随后他建立了合理的抛射体的飞行轨迹理论，被称作“科学在伽利略的斜面上从天上滑到了大地”。


图 2-14 伽利略的望远镜

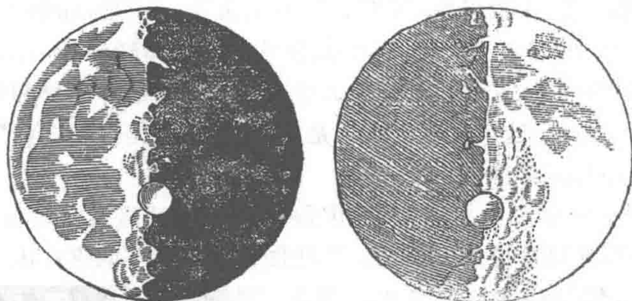
在天文学上，伽利略最大的成就是首次用望远镜观察天体。最早的望远镜是 1908 年荷兰一位眼镜店的磨镜工人偶然发明的，1609 年伽利略得知这个消息后，思索了一个晚上，终于悟出其中光路的奥秘，于是很快做成了一架望远镜(图 2-14)。他用一段空管子，一头嵌上凸透镜，另一头嵌上凹透镜，可取得放大3 倍的效果。很快他又做出一架放大三十多倍的望远镜。


图 2-15 伽利略把望远镜指向夜空

在 1609 年末一个晴朗的晚上，他把望远镜指向天空(图 2-15)。

恐怕伽利略自己也没有料到，这一刻，就是近代天文学的开始。因为在过去漫长的岁月里，天文学家只能用肉眼辨认星座，除彗星、新星等特殊情形外，代代人看到的星空都完全一样，而到伽利略这里，一切忽然改变了。

伽利略看到月亮表面有起伏不平的山脉、大大小小的环形山，深颜色的“海洋”和明亮的陆地。按亚里士多德的观点，“月上”世界是完美无瑕的。月球因为在分界线上，故不太完美，有一些阴影。但如今用望远镜看到的月球不光是不太完美，而且是和地球一样的“俗物”，有山有海，坑坑洼洼(图 2-16)。这个发现对作为基督教神学世界观支柱的亚里士多德-托勒密体系是个沉重打击。


图 2-16 伽利略据他的望远镜观测绘制的月面图

1610 年 1 月 7 日，伽利略又把望远镜指向木星，几天之后，他就发现并证实了有 4 颗卫星围绕木星转动。这是人类第一次亲眼看到有不环绕地球转动的天体存在。这个发现，对坚信日心说的伽利略更是个巨大的鼓舞，他在几个星期内就把这些发现写成《星空使者》一书，向外界公布。

随后伽利略在观测中又发现了火星、金星的位相。尤其是金星有时呈圆面，有时呈蛾眉月形状，这是托勒密体系无法解释的，而恰与哥白尼预言的相同(当然第谷体系也可解释)。伽利略还发现太阳也不完美，上有“黑色的”斑点——黑子，并通过黑子的移动推测太阳在自转。他通过望远镜还看到了大量肉眼看不到的暗星，并发现银河就是由密集的恒星组成的。

这些发现成为轰动一时的新闻，当时称：“哥伦布发现了新大陆，伽利略发现了新宇宙。”

由于那时的望远镜十分原始，观测到的星像也经常难以确定。伽利略曾发现

土星两旁似乎有凸起物，为防观测有误闹出笑话，又不会丢失发现权，他便用隐语发表了一句话，后来他自己把这句隐语释为"我看到最高的行星有三个。"最高的行星，指土星，他推测凸起物是紧挨土星的两个大卫星。不料这凸起物过几年又消失了，这使他很恼火，在给朋友的信中，他说：难道它们被土星吞噬了吗？还是当初我看错了？以至于他有一阵不再观测这恼人的土星了（直到1655年惠更斯才发现这是土星的光环，当它侧面朝向我们或太阳的时候，我们就看不到它了）。

过去教会没怎么把哥白尼学说放在眼里，以为它至多是一种为推算方便而做的假设。如今伽利略一连串的发现在世人口中传诵，谁还愿信守地心说，而把日心说只当作一种可有可无的假设呢？教会开始紧张。人们都争先恐后地通过伽利略的望远镜去观测这些天象，那些教士却采取鸵鸟政策，拒不观看，说：那是玻璃产生的幻影，你把望远镜上的玻璃去掉，就看不到月亮的凹凸和太阳的斑点了。

看到日心说越来越深入人心，教会开始出面禁止。可以想象教会方的心情：教义好不容易让人们相信，我们居住在宇宙的中心，上帝在注视、拯救我们，我们面对苦难要逆来顺受，百般忍耐，以图日后升上天堂。可是，如果人们知道了，他们其实就住在一个小石球上面，小石球围着另一个星体转，它不过是千千万万块石球中毫不起眼的一块，这些人会有什么想法？过去的那种膜拜和苦行还有什么必要？况且，平心而论，这个发现也确实是对当时"人类是万物之灵""人类是宇宙目的"之类自信心的沉重打击。

1616年，教会宣布哥白尼体系是"虚假的、错误的"，《天体运行论》被列为禁书，命令伽利略不准再坚持这一学说。从此伽利略多年不能再宣传日心地动说。

到1623年，伽利略的朋友乌尔班成为教皇。伽利略认为，他与教皇的私人友谊可能会保护自己，于是决定再次宣传哥白尼学说。他向教皇申请，允许他写一本不偏不倚、以此表现人的认识力有限、上帝万能的书，很快得到了准许。这部书他写了8年，1632年才在佛罗伦萨出版，名为《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》（本书中简称为《对话》，图2-17）。

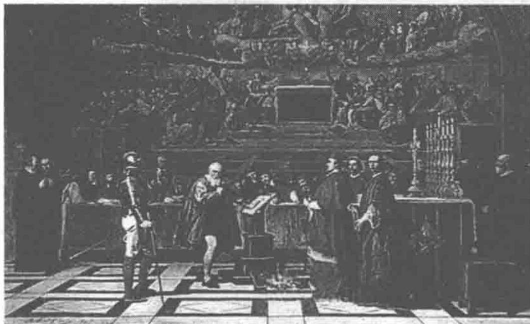


图2-17　伽利略《对话》原版封面

书的内容以三个人的对话展开，中心是托勒密、哥白尼两大世界体系。书中对哥白尼学说做出了精彩的陈述，并根据望远镜观测的大量证据阐明地球不是宇宙中心，地球围绕太阳运动。作者在字里行间的倾向非常

明显，把反对日心说的人称为“智力上的侏儒”“白痴”等。全书生动通俗，引人入胜，而且用意大利土语写成，流传甚广。

此书中伽利略特别强调他创造的潮汐颠动理论，认为是他的得意之作，甚至他一度想给此书起名为《大海潮汐论》。他认为，潮汐的产生正是地球运动的结果。正如我们端水走路会引起水盆里的水颠动一样，地球的自转和公转合成一股力，产生颠动，使海水来回冲击，形成潮汐。当时已有人根据“月上天，潮涨滩”的事实，模模糊糊地认为潮汐似乎与月球有关，开普勒则明确提出潮汐是由于月球对大海的吸引形成。伽利略反对这种说法，认为这是星占学观念。现在我们知道，伽利略对潮汐的解释是错误的，但我们理解他为地球运动拼命寻找证据的良苦用心。


图 2-18 教会审判伽利略

伽利略貌似公允、实际如此偏袒日心地动说的做法使教会非常愤怒，这分明是在宣传哥白尼体系，而且论证得言之凿凿，写得又这么“科普”。于是教会又一次对伽利略大张挞伐，指控他违反了1616年的法令，把他传唤到罗马，再次对他审判(图 2-18)。

1632 年 6 月 22 日，年近七十的伽利略被判处终身监禁(实际只执行了软禁)，被迫签字认罪并答应：“从此不以任何方式、言语和著作，去支持、维护或宣传地动的邪说。”他的朋友、教皇乌尔班八世也丝毫无法从定性上减轻他的罪名，教皇何尝不知伽利略有他的道理，但教皇因其地位而不能自拔，正如伽利略的使命感一样，双方各为自己的信仰而战。

据流传极广的一种说法，伽利略签字认罪时仍在自语：“不管怎样，地球仍在转动。”这可能是后人的杜撰，但的确反映了伽利略当时的心态。

当时信奉并极力论证哥白尼体系的并非只有伽利略一人。比伽利略小 7 岁的开普勒，也是信奉和宣扬日心说的急先锋，不过他的书太高深，其中伟大的思想与一些玄思奇想混在一起，不少学者理解起来都困难(连伽利略都不尽赞同)，教士们更看不懂。所以，伽利略受尽折磨时，开普勒却躲过一劫，平安无事。实际上，开普勒三定律为日心说提供了最强有力的支持，将要把地心说彻底颠覆。


图 2-19 布鲁诺

乔尔丹诺·布鲁诺(G. Bruno，图 2-19)也是意大

利的著名学者,他坚定地支持和宣传日心说,并提出宇宙无限、所有恒星都是太阳那样的星体,以及遥远行星上存在与地球类似的生命等见解。1600 年 2 月 17 日,布鲁诺被宗教裁判所判处火刑,烧死在罗马的百花广场(图 2-20)。当然,布鲁诺被烧死的真正原因是他的异端思想,他是一位泛神论者,志在横扫一切旧事物,打倒权威,否定神权,摈弃宗教。布鲁诺这位伟大的异端,就也被当作女巫一类的人烧死了。



图 2-20　布鲁诺殉难

这就是科学在 16、17 世纪之交的一段历程。这之前和之后,都没有这样的喋血史。19 世纪的达尔文提出进化论、20 世纪的爱因斯坦提出相对论时,仅引起一大片攻击和反对的浪潮而已,并无遭受审判和生命之虞。那是一个需要英雄的时代,而一个需要英雄的时代是可悲的时代。

审判伽利略、烧死布鲁诺的意大利,此后 200 年再没能出现什么杰出人才。1889 年,人们在百花广场建起布鲁诺的铜像,以纪念这位先行者。1979 年 11 月 10 日,罗马教皇约翰·保罗二世在梵蒂冈宣布,当年对伽利略的审判是不公正的,为之平反。此事在科学界几乎没什么反响,因为任何"平反"也不会比历史做出的评价更公正。

再说伽利略。当年被审判之后,他又度过 10 年遭监禁、监视的岁月。这期间他又写出力学著作《两种新科学》,不久就双目失明。1642 年,他在贫病交加中死去。就在同一年,英国林肯郡诞生了一个重仅 3 磅的早产儿——伊萨克·牛顿。

二、天文学家的法宝悄然问世



在世人眼里，天文学似乎是一种高深莫测的学问，它在所有的科学门类中好像特别独立而超然，甚至是个"异类"。这是因为，其他学科的研究，我们可以走近观察、可以随意测量、可以拿到手做实验，直至可以随心所欲地改变研究对象的形态、组成、结构，以此来探讨事物的本质。而天文学的研究对象则不然，它们离我们极其遥远，我们不能把它们拿过来，甚至不能接触它们，更谈不上做实验来改变它们了。所以，天文学的研究是很艰难的，其研究手段和工具也是很特殊的，除现代科技发展出的极个别手段外（如研究陨石；探测器收集星尘、月岩、火星、金星土壤化验；探测器近距或着陆拍照等），天文学的研究手段只有一种——观测。

所谓观测，也就是远看。我们知道，近在身边的事物，都常常蒙蔽我们的眼睛，使我们搞不清其本质特征，那么通过远看来对事物进行测度和分析，认识事物的本质，显而易见更是非常非常艰难的了。这是天文学显得特别神秘、富于挑战性、特别引人入胜的根本原因。早期的天文探索甚至经常有一种"知其不可为而为之"的悲壮。

但不管怎么说，从伽利略把望远镜指向星空开始，人类对宇宙星空的认识进入了一个新阶段。人们的眼界和思路都改变了，星空与我们的距离好像一下子缩短了。星星尽管还是那么神秘，不愿意炫耀自己的身影，不愿意显现自己的面目，但人们透过望远镜，更空前体会到这个世界的无穷魅力。

因此，望远镜的出现，在天文学上是一件了不起的大事，需要我们拿出很大篇幅来介绍它的起源和发展。

欲穷千里目——从目视到望远镜

在伽利略以前，天文学家一直都是用肉眼观测天空，那时每代人看到的星空基本都是一样的：太阳、全天六千多颗恒星、5 颗行星、偶尔出现的彗星和新星、有阴影但又看不清是什么的月面，等等。除此之外，人们不知道还有什么天体，或已知的天体上还有什么。

古人出于测量等等的需要，发明了不少仪器来武装天文学家。如中国的圭表、浑仪，西方和阿拉伯世界的六分仪、象限仪等。这些仪器只能测量天体的位置，并无助于看清天体的细节，也发现不了新的、看不见的天体。虽然随着工艺水平的提高，这些仪器的观测精度也会逐步增加，但由于肉眼分辨率的限制，其精度到一定程度就不可能再提高了。17 世纪初，第谷制造的仪器(图 2-21)已达到肉眼观测精度的极限。看来天文观测只能到此为止，继续观测下去，不可能再取得明显的进展了。



铜质的四分之一圆弧放在一面南北方向的墙上，上有精密的刻度，左侧高墙上有一观测孔，图中第谷正在指挥助手观测。

图 2-21　第谷的大墙象限仪

哪知第谷去世后仅仅 7 年，一种新的天文仪器就诞生了，它的出现才真正武装了天文学家的眼睛，使天文学由古代跨入近代。更重要的是：随着它的不断改进，使每代人都比前一代人看到了更多、更远的天体，这种神奇的工具就是——望远镜。

望远镜是荷兰一位磨镜工人和他的老板——一位眼镜商里帕席(H. Lippershey)偶然发明的(图 2-22)。据说在 1608 年，荷兰某家眼镜店的一个学徒工偶然将两片眼镜片(一个远视镜片，一个近视镜片)以适当距离放在眼前，发现这样看远处物体时物像会变大，于是把这一奇妙的现象告诉了主人。店主里帕席是一位很有见识的人，他没有叱责徒弟不做工瞎添乱，而是接过镜片继续观察。他发现这样看远处物体时，其物像不仅会变大，也看到了许多从远处看不到的细节，这等于把物体拉近了。里帕席首先想到此物在军事上会有用，因为这可以在敌人看不清我们时，我们就看清了他们。于是他将两个眼镜片固定在一个筒子的两端，称这个怪玩意为“looker”(不妨译为“窥器”)，献给荷兰当局。

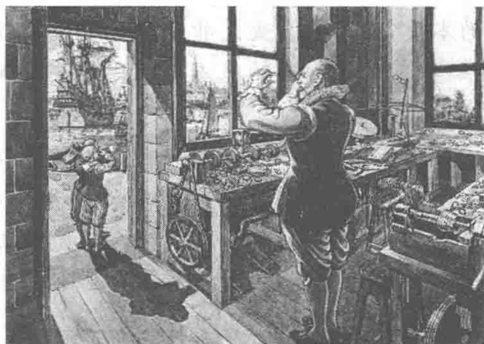


图 2-22　望远镜的偶然发明

窥器的奇妙效果一传十，十传百，引起不小的轰动，许多王公贵人都争着爬上瞭望台通过它窥望大海上远来的船只。这个有趣的发明物的名称也不止一个，比

如有人还叫它“optic glass”(视镜)。到1612年,希腊的一位数学家将其起名为“telescope”,意为“远视”(汉语译为“望远镜”),比较贴切地表明了它的功能,因此沿用至今。

1609年,伽利略得知这个消息后,思索了一个晚上就悟出其中光路的奥秘,很快就动手做成了一架望远镜。他用一段空管子,一头嵌上凸透镜,另一头嵌上凹透镜,可以把远处物体的物像放大3倍。很快他又做出放大8倍的望远镜,并将它献给威尼斯议会,议会的官员爬上海港的塔楼,用望远镜看到了刚刚从海平线露出的、肉眼看不到的船桅尖头。后来他又造出他经常使用的三十多倍的望远镜,用的都是单片的凸、凹透镜。

伽利略的最大功绩是:在别人谁也没有想到时,他第一个把望远镜指向天空——这是1609年12月下旬一个晴朗的晚上。这时他渴望知道的一定是:通过望远镜观看,等于是我们升上天空,凑近了去看天体,那么会看到更多细节吗?会看到新的星体吗?很快他的好奇心就得到了极大的满足——他看到了月球的地形、太阳上的黑点、金星的盈亏、木星的卫星、银河由无数恒星组成等(图2-23)。这些发现成为轰动一时的新闻,时称:“哥伦布发现了新大陆,伽利略发现了新宇宙。”



图2-23 伽利略以为月面的阴影部分是海洋,称其为“海”,那时的月面图真把它们画成了海洋

人们磨制眼镜片可以追溯到很早,为什么望远镜发明得却很晚?其原因很复杂,其中之一是当时人们有一种先入之见,对用“镜”认识世界这种手段抱有怀疑之心。那时人们认为,透过镜片看到的是歪曲的图像,不足为凭,谁愿意通过哈哈镜去认识世界?在中国,“水中月、镜里花”也一直被比作虚无缥缈、不可靠的事

物。西方在文艺复兴之后，这种怀疑态度逐渐消除，所以伽利略没有这种偏见，他认为通过望远镜看到的就是放大的真实（现在我们从光学原理上知道确实如此）。

常听有人问：这台望远镜能看多远？这是外行人问的话。答案是：无穷远，只要这个天体的光能到达这里。从根本上说，望远镜主要有两个作用：放大和增亮（图2-24）。在望远镜发明时，发明者首先意识到的是其放大作用（即“看多远”，相当于拉近距离），伽利略把望远镜用于天文观测，也首先想的是把天体拉近和放大。后来人们才知道，像太阳、月亮、行星、星云这样的有视面天体，是可以通过望远镜将其放大的，这样能够看到更多的细节，但恒星这样的点光源，无论怎么放（在现有技术下）也不会变大。那么，为什么通过望远镜看到了那么多恒星？这时科学家才注意到，望远镜还有增亮作用，它可以将物镜收集的光线收束全部射入人的瞳孔，所以人就觉得恒星变亮了，于是看到了许多肉眼看不到的恒星。

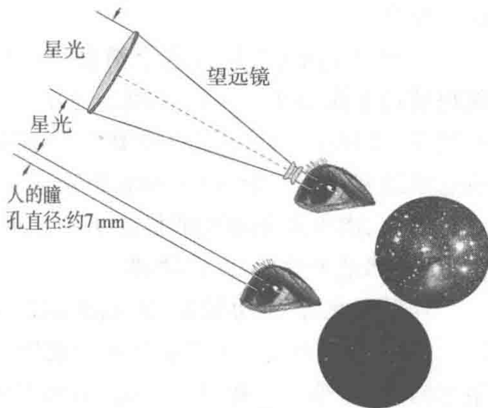


图 2-24　望远镜的增亮（兼放大）作用

人们又发现，物像通过望远镜被放大之后，也并不像人们真走近去看那样，变得非常清晰。也就是说，物像放大后可能会变模糊，使我们看不清应看到的细节。这就需要人们采取各种途径使图像变清晰，即：提高分辨能力。

随着光学和相关技术的发展，人们发现，望远镜的放大倍数是不能无限增加的，上限在300—400倍，但其“增亮作用”和“分辨能力”则大有潜力可挖，只要将物镜加大，二者就会增加，所以从此望远镜的口径越造越大。人们最关心的也不再是它能放大多少倍，而是它的极限星等（合适条件下看到最暗的星等）。所以，称其为“望远镜”已不甚准确，因其增亮作用最重要，故应称其为“增亮镜”。也正是在人们在追求放大、增亮、大分辨率的努力过程中，望远镜出现了不同的类型，并不断发展竞争，这不但大大武装了天文学家的眼睛，也促进了光学、材料、工艺等相关领域的发展。

就望远镜本身来说，其最大的贡献也是在天文学领域。虽然望远镜在其他领域如军事、大地测量、航海、旅游观光上也有用处，但都没有到举足轻重的程度，这些领域对望远镜的性能要求也不高。而就天文学来说，望远镜几乎就是一件性命攸关的工具，因此最关心望远镜改进的也是天文学家。

最早发明的望远镜类型，称“伽利略式”望远镜，它以凸透镜为物镜，以凹透镜为目镜，其图像呈正像。这种镜子虽然制造简单，但缺点很多，它没有实像（不能加十字丝直接测量）、视场小、边缘发暗。

在伽利略式望远镜出现后两年（公元 1611 年），开普勒提出了另一种望远镜设计方案：物镜和目镜都用凸透镜。他的视力很差，既不适于观测，也不适于动手制作，但别人将这种望远镜制成时，发现它远优于伽利略式望远镜，人们就将其称为“开普勒式望远镜”。它的视场大，图像为实像，测量方便，美中不足的是图像呈倒像，不过人们对天体毕竟不像对日常生活那样有严格的“正”“倒”观念，所以观测天体时，虽然看到的是倒像，也无大影响，对寻星、跟踪的调试也很快就能适应，因此在天文观测中广泛使用。（图 2-25）

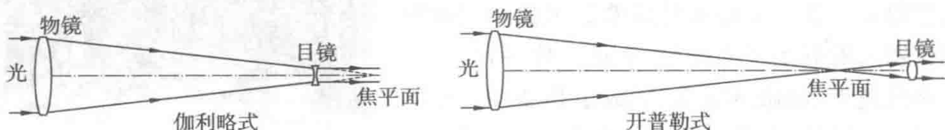


图 2-25　两种折射望远镜——伽利略式望远镜和开普勒式望远镜光路的区别

这样，伽利略式望远镜就慢慢退出了天文观测领域，目前仅简单的观剧镜还有这种类型的。

开普勒望远镜的原理是用凸透镜形成实像，再用高倍数的放大镜去看这个实像。那么，凹面镜也可以聚光形成实像，可不可以用来做望远镜的物镜呢？可能不止一人想到这一点。可是，凹面镜是反射光路，人眼凑近焦平面附近看时，头部会把入射光全部遮住，这真是个麻烦事。后来牛顿想出一个巧妙的办法，用小平面镜将光线转一个弯，人在一侧观看，问题就解决了。这种望远镜被牛顿做成后，人们称之为“反射望远镜”（图 2-26、图 2-27）。而开普勒和伽利略式望远镜都是以透镜作为物镜的，被统称为“折射望远镜”。

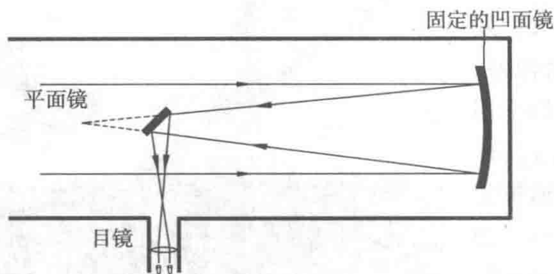


图 2-26　反射望远镜的光路



图 2-27　牛顿制造的第一台反射望远镜

从此，天文学家有了一种神奇的装备，来窥探宇宙的奥秘（图 2-28）。为了不断将其完善，又开始了围绕折射、反射两类望远镜展开的“独眼巨人装备赛”。



图 2-28　17 世纪的天文观测（下图为室内的太阳观测）

更上一层楼——独眼巨人装备赛

根据光学原理，望远镜的某些性能（如“增亮作用”和“分辨能力”）是可以通过新方法、新材料、新工艺的使用来一步步改良和提高的。自从天文学家的眼睛被望远镜武装起来之后，几乎每个天文学家观测时都希望用他的望远镜能比别人看到更多的东西，于是一代一代，望远镜越做越大，越做越精良，形成了延续 400 年的一场场“独眼巨人装备赛”，直到今日仍无休止。

望远镜的目镜只起到放大物像作用，其要求不是很高。物镜则是望远镜的要害部件，其优劣好坏对望远镜是性命攸关的事，因此望远镜的发展主要就是物镜的选用、磨镀和改进。本节将介绍 20 世纪以前折射望远镜与反射望远镜交替争当“霸主”的戏剧性经历。至于 20 世纪的望远镜发展，我们将放在“下篇”第二章中讲述。

1. 早期折射望远镜的发展

折射望远镜，无论是伽利略式，还是开普勒式，其物镜都是用透镜做的。早期的单透镜有着几种难以克服的缺憾，主要有球面像差、色差等。前者使物像发生某种畸变，后者使物像带上七彩的花边，严重影响了天文观测。后来人们发现当物镜表面曲率变小时，球面像差、色差也随之减小，于是人们就尽量采用小曲率物镜，不过物镜曲率越小，其焦距也就越长，所以早期的折射望远镜越做越长，直至长到几十米（图 2-29）。如此长的镜筒在自重下会变形，于是人们把镜筒简化只剩下骨架，后来干脆做成

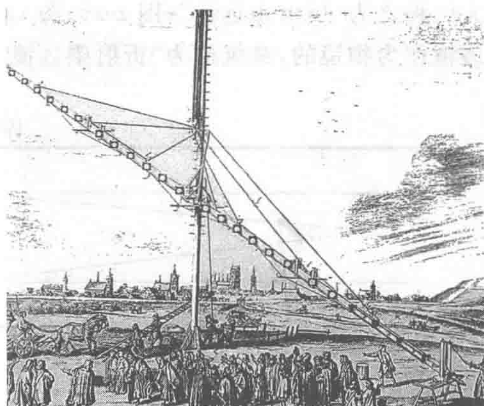
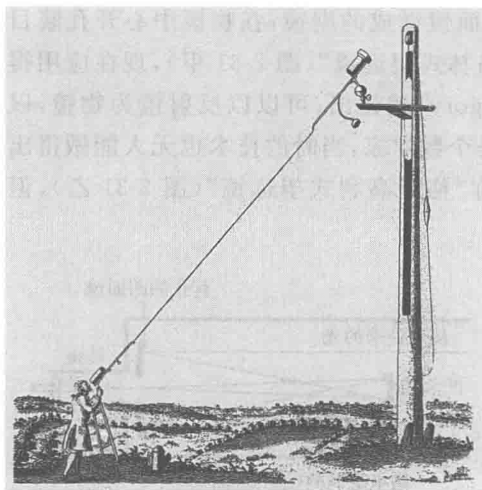


图 2-29　赫维留使用的镜筒只剩骨架的超长望远镜


图 2-30 惠更斯高耸的拉线式望远镜

中间无镜筒的“拉线式”。

1655 年（伽利略制成望远镜后 46 年），法国科学家惠更斯（C. Huygens）制成了光路达 37.5 m 长的望远镜（图 2-30），其物镜筒吊在高高的桅杆上，物镜与目镜靠一根长长的细绳相连，观测者需要手持目镜拉直绳索慢慢地对焦，非常吃力。这种光路的改进是很成功的，因为惠更斯很快就用它发现困惑伽利略多年的土星凸起物原来是土星的光环；1669 年，巴黎天文台首任台长乔万尼·卡西尼（G. Cassini）制造了光路达 41.5 m 的望远镜；1673 年，波兰天文学家约翰内斯·赫维留（J. Hevelius）又把这个纪录刷新到 46 m。到了下一个世纪，1722 年英国的布拉德雷（J. Bradley）试图测出恒星的视差，制成的望远镜光路更长到 65 m。

加长物镜焦距时，如果目镜不变，望远镜的放大率也会相应提高，所以制造长望远镜还有提高放大率的好处，因此那时有人设想，如果造出 1 000 m 长的望远镜——恐怕只能平放了，比如沿山坡放置的斜靠式，或凿透山体的隧道式——可以把物像放大 10 万倍，我们就可以看到月球上的动物了。

事实证明这种估计过于乐观了。一则那种曲率几乎为零、快接近平光镜的凸面镜片无法磨制；二则固定的 10 万倍望远镜，其物像随天球的周日视运动一定奔驰如飞；三是这种望远镜还是世界上最灵敏的“地震仪”，任何极微小的震动都会被它放大 10 万倍，即使我们能用它跟踪天体，星像也永远在剧烈地随机跳动；四是如果单纯放大，分辨率没有相应提高的话（靠增大口径才行），物像会越来越模糊；最后，对于有视面天体来说，比如一片很暗的星云，如果被放大 10 万倍，会暗淡得什么都看不见，因为我们不可能像使用显微镜那样把标本“照亮”。所以，由于这些因素的限制，望远镜的倍数超过三百多倍时，就已经有名无实了。

2. 金属镜面反射望远镜的领先

凹面镜有与凸透镜相似的聚光和成像本领，1668 年牛顿采用凹面镜作为物镜，经过巧妙的设计，制成了第一架反射望远镜。他用一片小平面镜将快聚焦的光线反射到镜筒的侧旁，再装架上目镜观看，可使大部分来光不被遮挡（称为“牛顿式望远镜”）。在牛顿前后也有人设计了其他类型，1672 年卡塞格林（G. Cass-

segrain)在反射镜的光路上加一面用小凸面镜做成的副镜，在物镜中心开孔装目镜(有的也折在一侧)，后人称之为“卡塞格林式望远镜”(图 2-31 甲)，现在应用得非常广泛；早在 1663 年，格里高利(J. Gregory)就提出，可以以反射镜为物镜，以小凹面镜为副镜，制造反射望远镜，但他是个数学家，当时的技术也无人能做得出来，过后很久这种望远镜才被人做出，现称“格里高利式望远镜”(图 2-31 乙)，但性能大不如卡塞格林式。

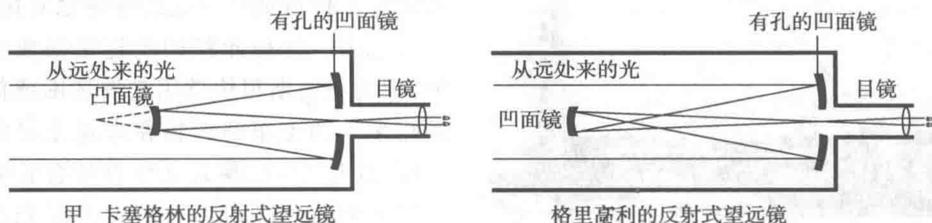


图 2-31　卡塞格林式和格里高利式望远镜光路图

牛顿没有采用玻璃做凹面镜，他用的是青铜凹面镜。我们知道，古代的铜镜即使磨得再光滑，看上去也是晦暗的，因为金属镜面反射率很低(例如青铜镜的反射率仅 16%)。那为什么不用玻璃镜呢？因为玻璃的反射率更低。我们用的明亮的玻璃镜是因为背面镀上了金属膜。过去制镜子的工艺是在镜子的衬背用锡汞齐方法沉淀一层较厚的锡膜，但这种方法不能用于凹面玻璃镜，因为若把锡膜沉淀在正面(凹面)，结果是锡膜粗糙的一面朝外，失去作用，若想将其抛光，锡膜又不够厚，一抛光就全没了；若将锡膜镀在镜的背面，一则背面必须磨得与正面曲率完全相等，很难做到，二则光线需要两次穿越玻璃，损失太大。所以，反射望远镜的物镜只好用金属镜了。实践中，人们逐渐发现用铜锡砷合金做的反射镜最好，所以后来的镜面大都是铜锡砷合金的。金属凹面镜除了反射率不高外，另一个缺点是易腐蚀，用一段时间后就要彻底抛光，其麻烦程度不亚于重做一面镜子。

反射镜的优点也是非常突出的。首先是无色差，因为光线在物镜处没有折射，可以完全消除色差。其次是因为金属镜磨制、装架都比较容易，而且是装在望远镜的底部，所以物镜口径能做得很大——这时人们已经认识到，口径才是决定望远镜性能的最重要指标，因此反射镜备受天文学家青睐。

口径的增加能提高恒星光点的亮度，还能提高对有视面天体的分辨率——比如若想看到“月球上的动物”，望远镜口径至少要达到 400 m。

制造商努力设计制造更好的反射镜，但仍满足不了渴望窥探到更多天体奥秘的天文学家的需要。于是，那时不少天文学家只好超前行动，自制望远镜，这是一项纯手工操作的活，其中打磨过程单调而劳累。这一时期最著名的望远镜制作者是威廉·赫歇尔。

威廉·赫歇尔(W. Herschel,公元1738－1822,图2-32)是德国的一位风琴师,年轻时为躲避兵役侨居英国,后来狂热迷恋天文学,最终以天文学家闻名于世。他从36岁起开始进行系统的巡天观测,并制作了多台当时世界上最精良的天文望远镜,后来还把本来准备当歌手的妹妹、正在学法律的独生子都拉入他的队伍。1781年,他发现了天王星,获得巨大声望,从此成为专业天文学家。另外,他在恒星、星云、双星、银河系结构等领域都做了许多开创性研究。所以,他既是仪器制造家,还是观测家,还是理论家。由于在恒星研究上的突出贡献,赫歇尔被后世誉为"恒星天文学之父",1816年被授予爵士称号。



图2-32　威廉·赫歇尔

赫歇尔一生磨了四百多块镜片,创造了金属面反射镜的辉煌时代。1781年他用自制的望远镜发现了天王星。他还发明了"赫歇尔式"装置:将物镜装偏一点,目镜直放在镜筒前端的边上,取消了副镜,也就省去了磨副镜的功夫,缺点是观测者必须站在高高的镜顶的一侧观看,一不小心就会掉下来。

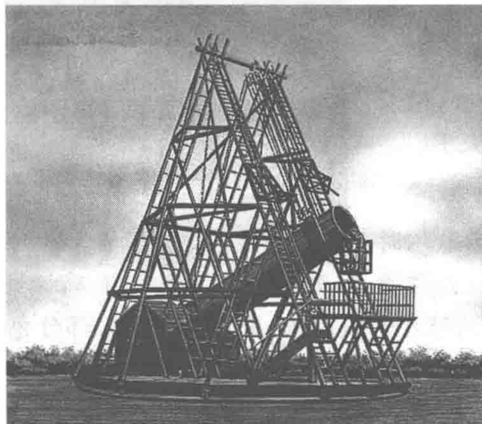


图2-33　赫歇尔1789年制造的望远镜(它的口径到1845年才被"大海怪"超过)

1789年赫歇尔磨出了他手中最大的白青铜镜面,其直径达122 cm。磨镜时是不能停的,一停,磨具与镜片就粘在一起了,有一天他曾连续磨了16个小时,靠妹妹在旁边读小说给他解闷儿,吃饭也靠妹妹来喂。这个镜面最后做成的望远镜(图2-33)长12.2 m,赫歇尔用它发现了土卫一、土卫二。

至此,望远镜的装备赛又一次进入了"庞然大物"时期,不同的是第一次趋向于长而细,这一次是胖而短。赫歇尔虽然磨出了当时最大的望远镜,但操纵装置却没有相应进步,他采用的是轨道＋脚手架的操作装置,十分笨拙,每天观测时大部分时间都花在了调试上。到了赫歇尔的晚年,这个装置被拆除,镜子也被倒伏的大树砸坏。

虽然操作问题让人头痛,但按现有原理磨制更大的镜片仍是可行的,所以造出更大的望远镜以期发现更多天体的愿望还在诱惑着一些人。1845年,爱尔兰的威廉·帕森斯(Rosse,罗斯伯爵)终于造成了一台口径184 cm、长17 m的金属

面反射望远镜。它的镜面是分块磨制后又焊铆联结在一起的。镜筒是仿照木酒桶,用木板加铁箍做成,因为太笨重了,只好放在两堵高墙间,用绞盘操作,使之在子午面上指向南方,可以上下转动,东西方向上最多只能活动15°左右。整个装置放在爱尔兰内地的比尔城堡,远远即可望见,人称"列维亚森"(即"大海怪",图2-34)。罗斯伯爵的努力证明,当时的技术是可以造出更大的望远镜的,只是由于操作技术跟不上,使其难有用武之地。但罗斯毕竟用这个"大海怪"看到了一个星云的蟹腿状构造,并将其命名为"蟹状星云"。

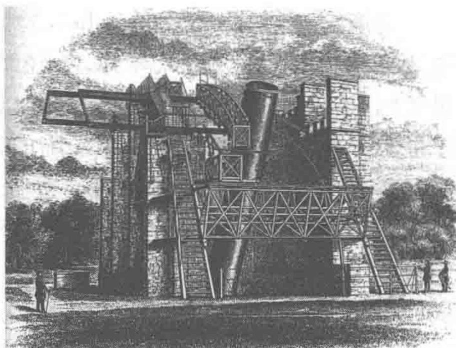


图2-34 "大海怪"(目前为吸引游客,它已被修旧如新,金属镜面换成玻璃,装置换成电动液压)

金属面反射镜虽然走向衰微,但仍有人对它情有独钟,1865年都柏林一家公司为南半球的墨尔本天文台造了一台口径122 cm的金属面反射镜(比"大海怪"要小),于1869年完成(图2-35)。安装使用后,首先支架不令人满意,调试困难。后来镜面失去光泽后全澳大利亚竟无人能重磨,最后只好废弃。至此,金属面反射镜的历史结束了。

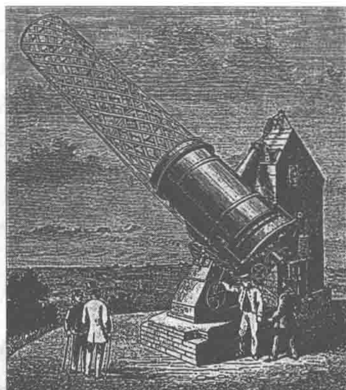
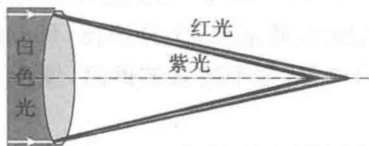


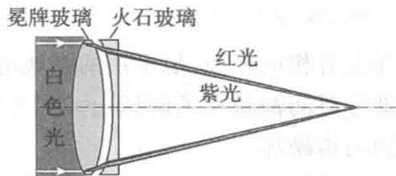
图2-35 最后一台金属面反射镜

3. 折射望远镜东山再起

就在金属面反射望远镜如日中天的赫歇尔时代,人们也在研究折射镜的改良,这时消色差透镜已经出现,它由折射率不同的玻璃做成的两三片透镜组成,可以消除绝大部分色差(图2-36)。于是以这种透镜为物镜的折射望远镜出现,口径也逐渐增大。折射望远镜终于东山再起,开始占上风。



甲 单透镜,产生色差



乙 消色差透镜,消除色差

利用低折射率、低色散的冕牌玻璃做凸透镜,利用高折射率、高色散的火石玻璃做凹透镜,将两者胶合在一起。为了让它仍然等效于一个凸透镜,凸透镜屈光度要大一些,凹透镜的屈光度要小一些。

图2-36 消色差透镜原理

透镜的铸造、磨制毕竟不易，因此折射镜的口径增加得比较缓慢。1824 年，德国的夫琅和费(Joseph Fraunhofer，以发明分光镜闻名)制成了口径 24 cm 的消色差折射望远镜(图 2-37)。它不但是当时最大的折射镜，而且配有新发明的赤道装置，操纵调试极为方便。这台望远镜很快归威廉姆·斯特鲁维(W. Struve)使用，他用来测恒星的位置，每分钟就可测 7 颗，两年测了 12 万颗星，这是“大海怪”等望远镜望尘莫及的。

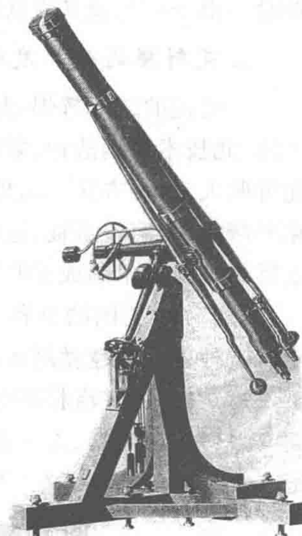


图 2-37　夫琅和费的消色差折射望远镜及其灵巧的赤道装置

1862 年，美国的克拉克(A. Clark)磨制成口径 47 cm的折射望远镜，并用它发现了天狼伴星。1888 年，克拉克又接受捐款磨制了 91 cm 折射望远镜。

1897 年，一台口径 1.02 m 的折射望远镜在芝加哥北部的叶凯士天文台建成，金属镜面反射镜的胖而短到此又发展成消色差折射镜的粗而长(图 2-39)。它的制造经费来自企业家叶凯士的赞助，叶凯士被天文学家海尔(G. Hale)引诱、忽悠，一点点儿掏腰包，共为它掏出了 35 万美元。

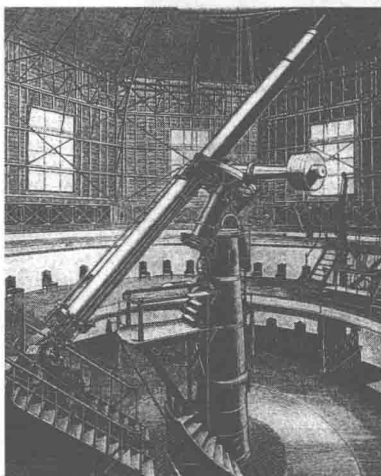


图 2-38　1885 年安装在俄罗斯圣匹茨堡的普尔科什天文台的 76 cm 折射望远镜

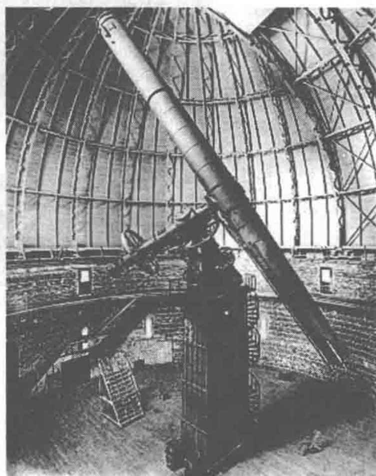


图 2-39　到目前为止口径最大的折射望远镜——叶凯士望远镜

折射镜发展到此，又遇到难以逾越的障碍。折射镜的镜片磨制成本、镜筒的承重都已到了极限。当时玻璃原料的精选，玻璃的熔制、退火、打碎、挑用等极为

费时。由于反射镜又重新辉煌，人们未敢冒险制造更大的折射镜。

4. 反射望远镜二度辉煌

反射镜的二度辉煌，是由于1856年德国化学家李比希(J. Liebig)发明了银镜反应，此技术用硝酸银、氨水等药品，能在玻璃表面镀上极薄的一层银，正面看即光可照人，这种方法可以使镜面的反射率大大提高，而且这层银用了一段时间氧化晦暗后，可溶去重镀，这比金属面反射镜的重磨要省事多了。于是，人们几乎马上就用这项技术制成了盼望已久的玻璃凹面反射镜。

1862年，美国的亨利·德雷伯(H. Draper)制成了口径31 cm的玻璃反射镜。随后这种望远镜越做越大，1908年海尔主持制造的反射镜(图2-40)口径已超过折射镜，它放置在洛杉矶附近的威尔逊天文台，彻底取代了金属反射镜，在许多方面(如口径、分辨率、天文照相、光谱研究等)也远远胜过消色差折射镜，成为20世纪天文观测的霸主。在"下篇"第二章我们将详细介绍它们的发展。

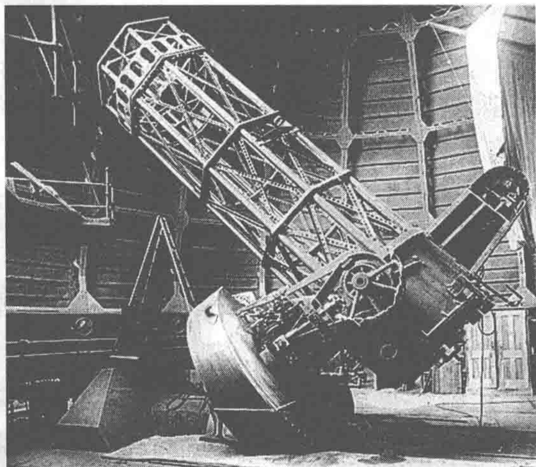


图2-40 海尔1908年主持制造的玻璃面反射望远镜

三、宇宙变得秩序井然了



在开普勒创立行星运行三大定律后的半个世纪，人们一直在努力探讨着行星绕日运动的深层原因，这时科学的中心已从意大利转移到英国，牛顿提出的“万有引力定律”解决了这一欧洲顶尖人物都在关注的难题。这是人类探索宇宙的一次辉煌的成就，从此开创了人类历史的理性时代，结束了人类面对大自然胡乱猜测、归于神秘和束手无策的局面，有了以理性姿态解决问题的勇气和自信。英国诗人亚历山大·波普曾写道：“大自然和它的规律隐藏在黑暗中/上帝说：生一个牛顿吧/于是一切都是光明。”牛顿到底做出了什么贡献，竟被如此推崇？本章我们主要介绍牛顿和他的一些与近代天文学有关的成就。

“生一个牛顿吧”——宇宙由引力主宰

1642 年，近代天文学、近代科学的开创者伽利略在教会的监视下以及贫病交加中死去，就在同一年，海外孤岛不列颠的林肯郡诞生了一个早产儿，取名伊萨克·牛顿(Isaac Newton，图 2-41)。



图 2-41 伊萨克·牛顿

牛顿出生的这天是儒略历 12 月 25 日，圣诞节——牛顿的生日当然应该是圣诞节，因为牛顿是个当之无愧的圣人！可是牛顿年幼时瘦小羸弱，个性羞涩，出生时重仅3 磅(1.36 千克)，按现代流行的观点，太不“优生”了。儿童时他也没有表现得像个神童，但这并不是他的天赋不够，他有极高的天赋，只是没有适当的环境展现。19 岁去伦敦剑桥三一学院读书后，牛顿开始显露天才，随后他的天才接二连三地爆发，22 岁时，他发现了无穷级数方法。次年夏天，英国流行瘟疫，牛顿不得不从剑桥回到家乡躲避了两年。这两年他的天才如满山春花一般盛开，他做出了划时代的三大发现：微积分、光的色散、万有引力定律。26 岁他便被聘任为最杰出的人才能担当的卢卡斯数学教授职位。

古代从亚里士多德开始，就把重物的降落当作是位置回“原位”的一种性质，

并不认为这种性质与天体的运行有什么关系。日心说提出后，尤其是亚里士多德的水晶球体系被彻底否定以后，人们开始寻找维系行星环绕太阳运动的物理原因。开普勒提出过引力的概念，但他设想的引力仅是作用范围有限、作用方式特殊的磁力；与牛顿同时代的罗伯特·胡克(R. Hooke)也提出过"指向天体中心的引力"的概念，但他不会用数学方法推导。牛顿也一直在不懈地思考着这个问题。1666年秋天，牛顿正躲避瘟疫，在故乡林肯郡母亲的农场一棵苹果树下做着宇宙冥想，忽然一颗成熟的苹果落在他的头上(图 2-42)。类似的事虽然每天都在发生，但这次不同，与他终日思考的东西联系在一起，他忽然感到非常惊奇，想：苹果为什么不斜落、横飞、或上升呢？继而又想：月亮是不是也像苹果一样落向地球，只是其降落弧线与地表的弯曲同步因此才环绕地球运行的？由此他提出了万有引力原理，并进一步认为，引力大小与距离的平方成反比。


图 2-42　一颗成熟的苹果落在他的头上……

牛顿是个追求完美的人，或许他开始也没有料到自己的理论无与伦比的巨大价值，或许也为避免别人忌妒和批评，还因为当时他不知道计算地球、月球的引力时是否可以把它们看作质量集中在其中心的一个点，计算起来怕有偏差，于是他把他的发现藏匿起来，不急于发表，以至于后来引发了关于万有引力原理发现权的争论。

后来的时间，牛顿对光的色散做了深入的研究。过去虽然人人见过彩虹，但谁也说不清彩虹的本质是什么，科学界也普遍认为白光是基本光，色光是白光的一种"偏离"。可是牛顿发现事实恰恰相反：色光是基本的，白光反而是色光的组合。正是基于这个原理，牛顿提出折射镜的色差是不可避免的(当时只限于使用单片透镜)，随后发明并亲手制作了世界上第一台反射望远镜。这期间牛顿进一步开拓了他的微积分理论，还提出了光的微粒说，1704 年出版《光学》一书。

转而，他又深入思考天体运行问题。在解决行星运行问题中，开普勒三定律的论证是关键环节，牛顿经过反复思考，利用他的万有引力原理和微积分理论，终于用数学方法推出了与开普勒定律完全相同的结果。开普勒三定律被提出之后，经常处于被怀疑、不受重视的地位，从牛顿这里才开始一改前貌，因此牛顿可以说是真正了解开普勒三定律的第一人。

那时，在引力与距离的平方成反比规律支配下，行星轨道是不是椭圆，是科学界所有顶尖人物共同关注的焦点。胡克宣称自己已得出结论，但拿不出数学证

明，牛顿已经证出，但又秘而不宣。1685年，比牛顿小十多岁的皇家学会会员爱德蒙·哈雷（E. Halley）就此问题请教牛顿，他发现牛顿已经论证出：太阳引力如果遵循平方反比规律，那么行星的轨道是椭圆。这一成果是惊人的，哈雷劝说牛顿早日把他的超人智慧献给人间，并决定自己出资出版牛顿的著作。这样，牛顿埋头写作了18个月，1687年，《自然哲学的数学原理》（下文简称《原理》）出版。

《原理》是自然科学界有史以来最伟大的一部著作，这本书奠定了天体力学的基础。作者对他的运动三定律、万有引力定律做了详尽的论证，而且从他的定律和伽利略等人的力学推导出开普勒三定律。书中对潮汐、摄动等与天体运行有关的内容也做了详细的研究。这部巨著开辟了一个全新的宇宙体系，也可以说是开创了人类的理性时代，所以才有波普“生一个牛顿吧，于是一切都是光明”的赞词。

有人曾用古代武库来形容《原理》，我们参观古代武库展览时，常为那些巨大的兵器而惊叹，它们的尺寸如此之大、分量如此之重，我们不由自主地想知道：使用这些兵器的该是怎样的巨人？因为就我们普通人来说，别说挥舞，我们提都提不动它。阅读《原理》时，我们也会有同样的感受：揭露这么多宇宙奥秘的人有着怎样超常的大脑？因为对我们来说，甭说写，读都难以读懂它。（图2-43）



图中，左下角是他的巨著《自然哲学的数学原理》原版，右边是他发明的反射望远镜，牛顿手持棱镜做光的色散实验，左侧背景是行星围绕太阳在运行，象征他的天体力学奠基人地位，右侧是激发他灵感的苹果，右边远景是一片海洋，意指他晚年仍然自谦地称自己是在海滩上捡贝壳的儿童，没有看到真正真理的海洋。

图2-43　牛顿的主要贡献

这不禁让人发问：牛顿的超人智慧是从哪里来的？为什么他想到了而别人没有想到？

要知道，对于他这样的圣人科学家，是不可用“人才”“能人”的模式去理解的。牛顿有其独特的品性：极高的天赋，极度的诚实，极度的独立思考。这种人不知说谎为何物，而且牛顿的成就是他一个人完成的，不是与人交流切磋做出的（爱因斯坦也一样）。最伟大的创造性思维几乎不依赖于逻辑或推理，重要的是境遇，时机一到，一切就此脱颖而出，因此牛顿关于苹果坠落的故事不一定是后人的杜撰。牛顿曾说：“如果说我比别人看得远些，那是因为我站在巨人的肩膀上。”牛顿自谦为“站在巨人的肩膀上”，可是像他这样的超巨人，岂不把谁都压垮？的确，牛顿的理论吸收了开普勒、伽利略、笛卡儿、胡克等人的思想，但大多数更是他自己超人

的创造，他曾多次指出开普勒太阳磁力吸推行星、笛卡儿旋涡、伽利略潮汐颠动理论的荒谬之处。

许多自称“爱科学”的人可能认为，科学家的工作是按部就班的，他们以一种冷静自然、纯客观的态度进行工作，按照“创新计划”去报项目、做创新，其中事实准确无误，理论无懈可击，于是新发现、新理论接踵而来。实际情况远非如此，科学是一种带有强烈信仰色彩有时甚至是本能的事业，伟大的理论可能仅仅来自直觉，论据常常模棱两可抑或不完整。普通人不怕大家一齐犯错误，就怕自己一个人犯错误，而大科学家恰恰相反，就怕和大家一起犯错误，而不怕自己一个人犯错误。正应了歌德的一句话：“‘天才’和‘人才’的性格是完全相反的。”

牛顿就是这样一个大科学家。他极其特立独行，一辈子没结婚，据说也从不做任何娱乐和消遣，他很不讨人喜欢，但科学界不是演艺界，科学的发展不能指望靠一帮可爱的人推动。



图2-44　法国哲学家勒内·笛卡儿

《原理》一出版，就确立了牛顿在英国科学界不可动摇的地位。但这之后50年间，万有引力理论不断受到来自欧洲大陆的各种怀疑和攻击。许多天才的学者创造出不同的体系去反驳牛顿的理论。当时欧洲大陆占统治地位的是法国勒内·笛卡儿（R. Descartes，图2-44）的机械论，即以机械的观点去说明重力，笛卡儿强烈反对牛顿的引力观，认为牛顿的引力是超距的，太像亚里士多德的位置回原位（向地心）的理论，笛卡儿认为宇宙间充满物质，行星处于太阳系的以太旋涡中，旋涡的挤压使原应直线运动的行星弯成圆运动（图2-45）。从这里可以看出牛顿与笛卡儿的对立：笛卡儿认为原理是由直觉提供的，牛顿则认为原理是由实验提供的。同样，法国的惠更斯、德国的莱布尼茨也都说牛顿的远作用引力是神秘主义，认为必须说明引力的原因才是科学的。牛顿则有一套自己的见解：由于没有适当的实验、观测，引力虽无法说明原因，但可以存疑有待日后证实，而臆测天体运动的原因（如以太旋涡、太阳是单磁极等等），才是真正的神秘主义。

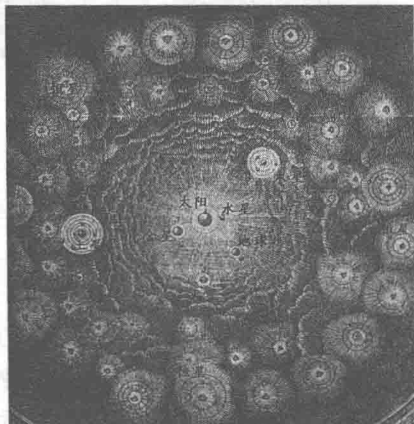
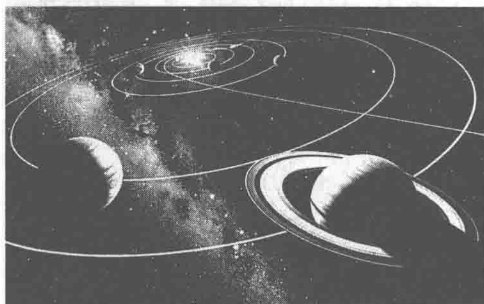


图2-45　笛卡儿的宇宙旋涡设想（那时认为金星也有卫星，恒星周围也大多有行星围绕转动）

于是这个伟大的真理又需要等待一段时间去让人们去了解和信服。这时又出现了牛顿理论与笛卡儿学说关于地球形状的争辩。牛顿曾从理论上推测，地球的形状如同橘子，是个赤道较突出、两极较扁的旋转椭球体，由于日、月对地球赤道隆起部分的摄动，形成岁差。法国学者则根据笛卡儿的旋涡学说认为：地球的形状是两极突出、赤道紧缩，像个香瓜。巴黎天文台卡西尼测量了法国南部和北部的子午线 1°的长度，发现南段比北段稍长，认为是证实了笛卡儿的推测，于是引发了英国与法国关于地球形状的争辩。这场争辩从 17 世纪末开始，一直延续了半个世纪。1735 年，巴黎科学院派遣两个远征队，一队前往赤道附近的秘鲁，一队奔赴北极圈附近的拉普兰（瑞典北部），测得的结果为：地球的形状确如牛顿所言，是扁球体。法国人的科学精神是可贵的，他们自己出资测量证伪了自己，从此对牛顿力学心悦诚服。

牛顿的后半生除了投身政务之外，也仍在写作和研究，以进一步证明这个理性世界被上帝创造得多么和谐。有人认为这是他对早年成就的延续和深化，但以历史的观点，已看不出这对科学有多大的意义。1727 年 3 月 20 日，84 岁的牛顿在睡梦中长逝。


图 2-46　牛顿的引力宇宙

经过从哥白尼到牛顿的 150 年，人类对宇宙的看法彻底改变了。从牛顿开始，人们终于明白：开普勒的行星、伽利略的铁球（指伽利略在比萨斜塔上做两个铁球同时落地的实验）、牛顿的苹果、世上万物，都在同一力学定律支配下运动。整个宇宙，原来是被引力主宰（图 2-46）。天体的运动轨迹在人们心目中清晰起来，天文学家也开始大有可为了。

拉格朗日对此曾说：牛顿是最伟大的天才，也是最幸运的天才，因为我们无法再去建立一次世界的体系。

预言未知天体——经典力学如日中天

牛顿力学对行星运行轨道做了有史以来最令人信服的描述，但它若想被人们彻底接受和承认，必须能够对地上所有物体、太阳系所有天体的运动都予以同样的解释才行。地上物体的运动比较容易测量和计算，关键是天体。18、19 世纪，随着观测精度的提高和更多天体的发现，牛顿的后继者计算了彗星的轨道，预言了彗星的出现，直至根据天体间的引力预言了新行星的位置——这是人类第一次

运用普遍规律对未知事物所做的预测，人类几万年来的“先知”梦靠近代科学的力量居然能部分实现！可见经典力学的成熟对人类是多么大的鼓舞。

1. 哈雷预言彗星回归

除行星外，太阳系里还有其他一些天体，当时天文学家对它们的行踪知之甚少，其中最典型的当数彗星。

彗星因其披散的头部、长长的尾巴、多变的身材和诡异的行踪，常给人怪诞和恐怖的印象，以至于在大多数民族的传统里，都把它看成是灾兆。直到前牛顿时代，天文学家对彗星的本质以及它们在“宇宙秩序”里的作用还是不甚了了。从第谷开始，科学界才把彗星看作天体，第谷还推测彗星与行星一样，可能按一定轨道绕太阳运行，但他无法根据有限的观测资料加以验证。

人们发现，彗星常常在天上画一个大圆弧，然后慢慢消失。天球上的大圆弧意味着是直线的投影，因此许多人推测彗星的轨道是直线（开普勒就一直持这种观点）。另外，人们还发现彗星常成对出现，晚上出现的彗星，慢慢走近太阳消失，过不久早晨又出现一颗，逐渐背向太阳而去，终于有人意识到这种早、晚分别出现的彗星与“启明星”“长庚星”（都是金星）交替出现的道理一样，它们是同一颗彗星。于是又有人猜想彗星是沿直线走近太阳，被太阳的磁力推开，再反弹一般沿另一条直线离开的。总之，多数人认为彗星不遵循其他天体的运行规律（图 2-47）。



图 2-47　1528 年出现的一颗彗星，被想象为天神围绕的一把宝剑

后来，卡西尼观测了 1662 年出现的大彗星后，指出彗星可能沿扁椭圆轨道运行。牛顿则运用万有引力定律证明：彗星是从太阳背后绕过，而非在太阳前面反弹的，其轨迹应该是抛物线。

那时计算星体轨道全用笔算，这是相当枯燥繁复并且要耗费大量时间的。在计算彗星轨道上，哈雷（图 2-48）投入了大量精力，他根据所观测到的数据，利用牛顿理论，共算出 24 颗彗星的轨道，他发现这些轨道都可看作抛物线。



图 2-48　爱德蒙·哈雷和以他命名的哈雷彗星

在众多彗星轨道中，有三颗沿抛物线运行的彗星引起哈雷的高度注意：一颗是 1531

年出现的，有前人的观测记录；还一颗1607年走近太阳，是开普勒观测到的；第三颗出现于1682年，哈雷自己有第一手观测资料。他发现这三颗彗星不但亮度、形状相近，它们的轨道，包括近日点、轨道形状、轨道走向也都十分相似，而且它们出现的时间间隔也大体相同。于是他认定这三颗彗星是同一颗，运行轨道不是抛物线，它运行到我们观测不到的极远处时拐了回来，因此它的整个轨道应是拉得极长的椭圆。

1705年，哈雷的《彗星天文学论说》出版，按照这彗星三次回归的间隔，考虑大行星摄动等因素，哈雷预言了这颗彗星将在1758年回归。

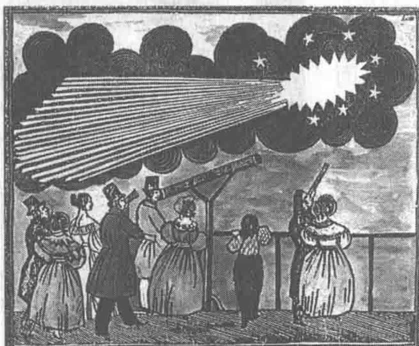


图 2-49　关于19世纪哈雷彗星回归的一幅木刻

这是人类第一次预言尚未看到的天体，因此反响十分强烈，支持者深信不疑，怀疑者冷嘲热讽，有人说："哈雷先生已经49岁，这个年龄为他的预言保了险，请问如果53年后这颗彗星不出现，我们上哪儿去诘问哈雷本人呢？"哈雷知道自己不大可能在有生之年看到这颗彗星的回归了，料到有人会这样责难他，已在书中写道："如果彗星最终依据我们预言，大约在1758年再现的时候，公正的后代不会忘记感谢，这首先是由一个英国人预言的。"（图 2-49）

1742年，哈雷去世。1758年圣诞节那天，一颗暗淡的彗星被德国一个务农的天文爱好者看到，几个星期后，天文学家梅西叶(Messier)又独立发现了它，它正在哈雷预言的位置，随后越来越亮，气势磅礴，在天空庄严地扫过。此时此刻，牛顿力学仿佛也和这颗彗星一起，横扫天界，万众瞩目。欧洲学术界从此彻底心悦诚服地接受了牛顿的理论。同时，公正的后代也没有忘记感谢先行者，于是把这颗彗星命名为"哈雷彗星"。



經十有四年春王正月公至自晉　邾人伐我
南鄙叔彭生帥師伐邾夏五月乙亥齊侯潘卒
六月公會宋公陳侯衛侯
鄭伯許男曹伯晉趙盾癸酉同盟于新城
秋七月有星孛入于北斗
公至自會　晉人納捷菑于邾弗
克納
九月甲申公孫敖卒于齊
齊公子商人弒其君舍
宋子哀來奔　冬單伯

图 2-50　中国对哈雷彗星的记录

中国对哈雷彗星的记录要早得多，《春秋》中"秋七月有星孛入于北斗"是世界公认最早的哈雷彗星记录（图 2-50），中古以来它的每次回归史书都有记载，共31次，不过一直无人证明它们是同一颗，否则这颗彗星就该叫"中国彗星"了（直到现代才有人将这些记录全部摘出）。据说哈雷在计算时，也曾参考了一些中国记录，这对国人来说也算是一种安慰。

2. 太阳系整体的天体力学

从此，牛顿力学的发展由英国转移向欧洲大陆。早期的牛顿力学只考虑两个天体之间的引力作用，即二体问题。但现在，数理学家必须面对太阳系整体来研究、计算，法国的数学家达朗贝尔(d'Alembert)、拉格朗日、拉普拉斯，德国的欧拉(L. Euler)、高斯(C. F. Gauss)都集毕生精力创造出各种数学工具来处理太阳系的种种力学问题，尤其是三体问题。其中拉格朗日、拉普拉斯贡献最大。

人们发现太阳系由引力主宰后，鉴于一些行星轨道根数的变化，开始关注这样的问题：太阳系稳定吗？行星会不会在相互的摄动中离散从而导致太阳系解体？最明显的一个事实是：从第谷时代的观测就发现，土星轨道在逐渐扩大，而木星轨道在趋向缩小，这样下去，土星将会逸出太阳系，木星则终将落入太阳。再如，哈雷通过观测和查证资料发现，月亮的运动从古代起就有加速现象，长此以往，它最终也会落向地球。



图 2-51　拉格朗日

拉格朗日(J. Lagrange，公元 1736—1813，图 2-51)经过仔细推算，1788 年在其《分析力学》中提出：行星相互摄动是一种长周期现象，过一段时间木星、土星轨道还会反方向变化，因此太阳系在长期看来是稳定的。他的论断打消了人们的担心。

拉普拉斯(P. S. Laplace，公元 1749—1827，图 2-52)是牛顿力学的集大成者，1799 年开始出版巨著《天体力学》，共五卷，陆续出齐已是 26 年后。这部书汇集了牛顿力学以来天体运行研究的全部成就，堪称第三本《至大论》。他以书名的形式首次提出“天体力学”的学科名。书中最引人注目的是论证了太阳系的稳定性和永恒性，拉普拉斯得出结论：木星、土星轨道的大小变化 900 年循环一周；太阳系各行星总的偏心率是恒量，因此一个行星的偏心率变大，其他的就减小，轨道倾角也有类似的规律(现在看来仅是近似成立，但这也确保了太阳系的稳定)；月亮加速也是暂时的，与地球轨道偏心率变化有关，以后会逆转为减速。



图 2-52　“法国的牛顿”拉普拉斯

拉普拉斯的成就使他被誉为“法国的牛顿”，一系列问题的解决使人感到牛顿力学无所不能，拉普拉斯曾说：“只要我们知道了宇宙每一颗粒子的初始位置和运

动状态，我们就可推算出过去未来宇宙任一时刻的图景。”据说拿破仑有一次会见拉普拉斯时问：“你的书中为何不提上帝？”这位时代的巨人自信地回答：“陛下，我不需要那个假设。”

3. 海王星的预言和发现

随之而来的海王星的预言和发现更使经典力学的威望如日中天。

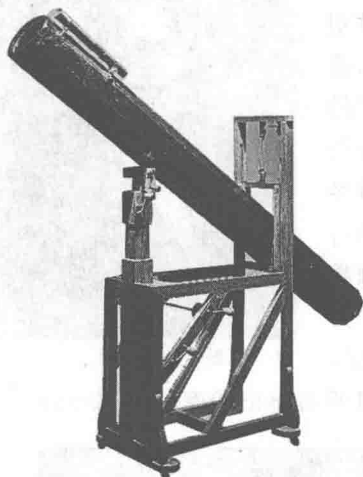


图 2-53　赫歇尔发现天王星的望远镜

这要先提到天王星的发现。天王星是威廉·赫歇尔于 1781 年发现的，那年 3 月 13 日晚上，赫歇尔正用自制的 16 cm 望远镜（图 2-53）做巡天观测，忽然发现一颗不同寻常的天体出现在视野中。若在一般的望远镜和一般的观测者手里，这天体可能会被当作恒星而忽略，但赫歇尔的望远镜是他自己磨制的，性能极好，再加上他的观测经验，他一眼就看出这个天体有微微的圆面，不是恒星，依过去的观测经验，他推测这个天体是彗星，并向英国皇家学会做了报告。

许多人也开始关注这颗“彗星”，数理学家根据观测数据用抛物线或长椭圆描述它的轨道，但总与后来的观测不符，后来终于发现它的轨道是接近正圆的，在土星轨道之外，而且进一步的观测发现这个天体有清晰的边缘，这说明它是行星。

新行星的发现轰动了整个天文学界，这说明太阳系的范围又扩大了。德国天文学家波得建议用古希腊罗马天神 Uranus 命名，得到公认（中国将其译为“天王星”）。这样古希腊罗马神话中的朱庇特（木星）、萨杜伦（土星）和尤拉诺斯（天王星）子、父、祖三神并列于天外。

天王星被发现后，有人立刻查找以前的观测记录，发现在这之前，天王星已经被人观测过 17 次，只是都当成了恒星，它在冲时甚至肉眼隐约可见。依据天体力学的知识（当然考虑了木星、土星等的摄动），人们很快编算出天王星过去未来的运行表，但发现此表与以前观测的位置有明显误差，是以前观测得不准吗？随着时间的流逝，到 1830 年，人们发现以后的观测也与星表不符了，天王星为什么不守“规矩”？是万有引力定律不完全成立？还是天王星受到空间流体的阻滞？德国天文学家白塞耳指出：天王星的失常是另一未知行星的摄动引起的。

那么，这颗行星在哪里？再像发现天王星那样去碰运气般地寻找，恐怕不知

要找到什么时候。能否利用天体力学的方法来算出它的位置呢？这是一个未曾有过的难题，如果是已知行星，求其摄动很容易，但若已知摄动结果去求未知的行星，从没有人试过，因为没有一套固定的计算程序，只能先假设一些条件，不断计算、修改，再计算、再修改，设法使之符合观测，这简直如同在迷宫中探险一般艰难。

1844 年，法国巴黎天文台的勒维耶（U. Le Verrier，公元 1811—1877）开始向这个难题挑战。经过艰苦的计算，1846 年 8 月 31 日，勒维耶提交了论文，报告出这颗未知行星的位置，9 月下旬，他终于说服了柏林天文台的伽勒（J. Galle，图 2-54）去搜寻，他在给伽勒的信中说："把您的望远镜指向宝瓶座，黄道上黄经 326 度处，在这个位置 1 度的范围内，定能找到新的行星，这是一颗 9 等星，它具有明显的圆面。"恰好伽勒刚刚获得柏林科学院尚未公开的最完备的星图，9 月 23 日，搜寻的第一晚上伽勒就捕捉到了这颗新行星，它离勒维耶推算的位置不到 1 度，亮度为 8 等，但几乎看不出圆面。（图 2-55）



图 2-54　伽勒

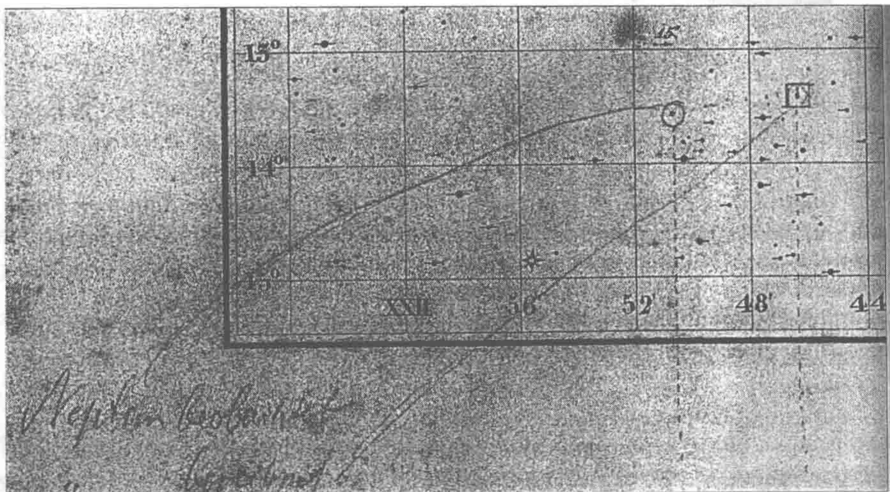


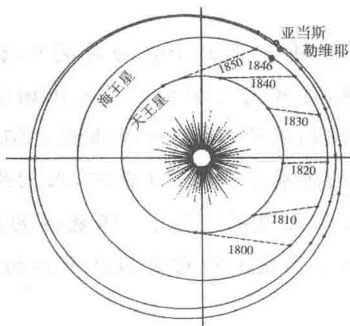
图 2-55　伽勒和他的助手发现海王星时用的星图

从笔端算出的新行星被发现的消息不胫而走，科学界上下额手称庆，这是牛顿力学最辉煌的一天。也正是从这一天开始，哥白尼日心说、开普勒三定律、牛顿万有引力定律才在世人心中成为无可辩驳的事实，引力恢恢，疏而不漏，一个由引力主宰的、全新的宇宙完整地呈现在人类面前。

发现新行星的消息刚公布，英国御用天文学家艾里(G. Airy)马上发表了一个名叫亚当斯(J. Adams，图 2-56)的年轻大学生的论文，论文显示，亚当斯计算出了与勒维耶基本一样的结果。艾里表示，7 个月前他就接到了亚当斯的论文，但艾里以不屑一顾的态度将其抛在一边。亚当斯只好自己设法让人在剑桥天文台寻找新行星，因无精确的星图，两次看到也没认出，正在慢慢搜寻时，未知行星已被勒维耶、伽勒发现。(图 2-57)



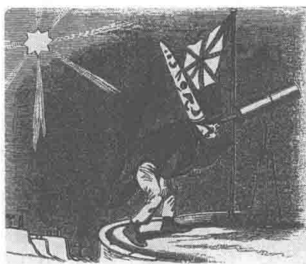
图 2-56　亚当斯

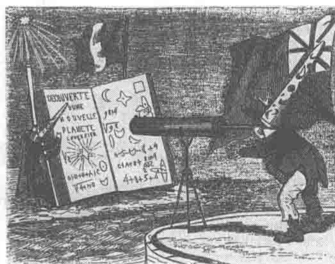


他们推得的轨道只是“近期符合”海王星实际位置，远期看与海王星真实的轨道偏差很大。如果按这种轨道数据继续推算，晚几年再搜寻的话，天文学家根本无法在他们预测的位置找到它。

图 2-57　勒维耶、亚当斯推出的海王星轨道与海王星实际的轨道比较图

艾里的诚实态度使天文学界知道了真相，勒维耶算出了新行星的位置，那么亚当斯计算的结果是不是可以与之共享殊荣？虽然在这两人之间好像没有过明显的争论(而且他们在后来会面之后还成了好朋友)，但在英国与法国之间，一场关于谁先推算出海王星位置的国际性争论曾吵得不亦乐乎(图 2-58)。最后，天文学界决定将新行星的发现共同归功于他们两人。







左图为亚当斯在相反的方向寻找海王星；右图左为伽勒观测到了海王星，而亚当斯在勒维耶的书中去找。

图 2-58　英、法争夺海王星发现权时法国人画的漫画

图 2-59　海神波塞冬

这颗新行星，仍然沿袭大行星命名的做法，用古希腊神话中的海神波塞冬(图 2-59)的名字将其命名为海王星。

四、探索太阳系



太阳虽然离我们不很远，看起来大小也与月亮相仿，但由于它发出强烈的光和热，使我们几乎不敢正视，这就大大影响了对太阳细节的观察。所以，虽然伽利略早就用望远镜发现了太阳的黑子，并进一步推测太阳在自转，但以后200年，人们对太阳的认识没有太大的进展。到了19世纪，人们终于一步步"走近"了太阳，通过对黑子特性的了解、太阳大气的观测、太阳能源的推测以及太阳系起源的探讨，勾画出了一个新的太阳。用望远镜对太阳系天体的全面观测也使人们对太阳系有了全新的认识。

如果问：我们仰观天穹，看到无数的天体，这些天体的什么数据是我们最关心的？绝大多数人都会说：距离。那么，这些天体中哪个天体到地球的距离最重要？同样多的人会说：太阳。是的，天文学家也这样看，他们特别关心地球到太阳的平均距离，一直用一个极大的字眼"天文单位"来称呼它，相信只有确定了这个距离，其他距离才有了标准。几百年来，天文学家为了测得精确的"天文单位"值，做了各种各样不懈的努力。

把握太阳——洞观中心"大熔炉"

1. 寻找"火神星"，意外发现黑子盛衰周期

勒维耶靠计算求出未知行星的位置，该行星果然被发现，这是牛顿力学的辉煌，也是勒维耶数理天文学家生涯辉煌的一笔。与此同时，勒维耶又研究水星的近日点进动问题。

天文学家观测发现，行星每绕太阳公转一周，近日点的位置就有微小的改变，这种现象称为"近日点的进动"。1859年，勒维耶根据长期的观测资料，测出了水星轨道近日点进动的数值，但他惊奇地发现，无论怎么调整，这个数值也比按牛顿力学理论推算出的理论值要大。当然，超出的部分每100年只有38角秒（现在测得的是43角秒），但即使这一点微小的差异，也远远超出了观测造成的误差，所以

它一定是客观存在的。

这个发现使勒维耶非常兴奋，因为历史又要赐给他一次机会了。他相信，这一定是水星轨道内还有一颗行星，这颗行星的摄动力导致了水星近日点进动异常。

勒维耶又开始了艰苦的推算工作，有了上次的成功经验，这次毕竟要容易多了，也有信心多了。他很快计算出了这颗未知行星的轨道，它到太阳的距离是水星到太阳的一半，绕太阳一周不到 20 天，大小与水星相仿。他还为这颗行星取了个漂亮的名字——“火神星”。因为火神星离太阳太近了，不可能在夜空找到它，只有在它凌日时观测才能看到，他终于推算出：1877 年 3 月 22 日，火神星将在日面上通过，呈现为一个黑色小圆点。

勒维耶自从推算出海王星位置后声名鹊起，从 1854 年起担任巴黎天文台台长，这一光环效应使得很少有人对他的推算乃至思路产生怀疑。于是到了这天，世界上许多架望远镜都对准了太阳。可是，无论观测者怎么凝神注目，无论使用多么精密的望远镜，明亮的太阳圆面上始终未见火神星的影子通过。

是预言失误，还是观测不到位？勒维耶相信是后者，他过于陶醉于成功推算海王星位置的功劳上了，竟没想到这次推算是他的麦城之旅。但年复一年，无论是勒维耶的再次推算，还是其他人的推算，很多人的寻找都没有发现这颗火神星。

理论与观测的矛盾，就像阴云和幽灵一般徘徊在牛顿力学的上空，以至于后来纽康等人怀疑引力的平方反比规律有误差，这个问题直到爱因斯坦提出广义相对论才予以完满解释：原来，影响来自太阳的引力场。

其实，在这之前有许多人就相信“火神星”的存在，但不会像勒维耶那样计算，只好直接寻找。德国药剂师施瓦贝(H. S. Schwabe，图 2-60)在工余时间用望远镜在日面上寻找了 17 年。为了避免把火神星与黑子搞混，他仔细研究了太阳黑子的形状和出现规律，画的黑子图表装满了几柜子，结果无意中发现了黑子有 10 年多的盛衰周期。1843 年，施瓦贝把这一发现写成论文寄到《天文快报》，编辑一看作者是个药剂师，以为这一定是无聊的信口开河，没予理睬，后来勉强登出一小节，也几乎没人注意。其后不久，在慕尼黑工作的苏格兰天文学家拉芒特(Johann von Lamont)发现了地磁变化也有 10 年左右的周期，与施瓦贝发现的日面活动变化相当吻合，这时人们才开始重视施瓦贝的研究，为纪念他的筚路蓝缕之功，施瓦贝被授予皇家天文学会金质奖章。这是最早的日地关系研究。



图 2-60　发现黑子盛衰周期的施瓦贝

英国天文爱好者卡伦顿(Richard Carrington)经过6年耐心细致的观测,发现太阳上不同纬度的黑子运行速度不一样,他于1859年提出:太阳的自转速度在不同的纬度是不一样的,赤道最快,高纬度地方较慢,这说明太阳表面不是冷固体。随后,斯波勒尔(G. F. Spöerer)发现黑子出现时总是集中于某一纬度,这一纬度值在一个周期内也有变化,由此提出著名的斯波勒尔定律(图2-61、图2-62)。

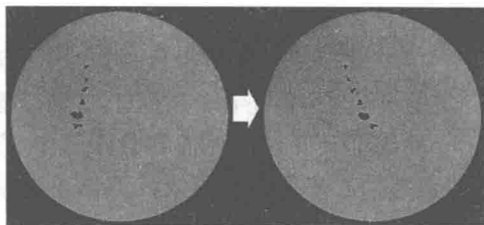


图2-61　太阳上不同纬度的黑子运行速度不一样

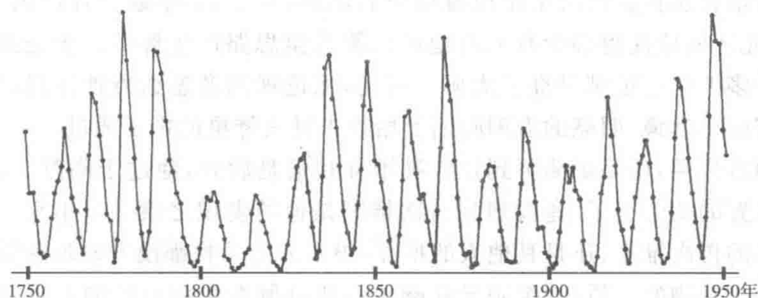


图2-62　1750—1950年太阳黑子活动的变化(黑子相对数)

2. 天赐礼物日全食——看到太阳大气

日食的观测起源很早,西方早期观测日食的目的与中国古代相近,主要是为了确定初亏、复圆的时刻,以验证、修改现有的日、月运行历表。日全食发生时,黑黑的月轮外面总有一圈蓝白色的光晕,人们一直没有意识到这圈光晕有什么意义,以为不过地球高层大气的折射现象,或是一种光学幻觉,哈雷则认为它是月球上大气的散射光——哈雷常有些奇特的设想,他认为地球的内部是空的,中心是一颗小太阳,地球的南北极有空洞,光线射出形成极光。现在我们知道,极光是太阳高能带电粒子沿地球磁感线与两极上空高层大气电离而产生的。

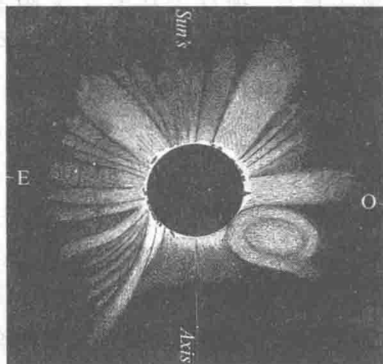


图2-63　1860年西方人描绘的日全食图

到1860年,通过天文照相,科学家才证认这些日全食(图2-63)光晕是被我们看到的太阳大气,称之为"日冕"(图2-64),贴近日面的多变凸起称"日珥",再近些的是色球层,都是太阳大气的组成部分,它们非常值得研究(图2-65)。从

此短短几分钟的日全食成了天赐人类的礼物，是天文学家研究太阳大气的宝贵机会。特别是与色球发射线有关的闪光光谱，只能在月轮完全遮住日轮或日轮刚要露出的一刹那拍摄，全世界的天文学家积累的资料加到一起也没有多少。不少观测过多次日全食的天文学家竟没看过一眼日全食的景象，因为太忙碌了，根本没时间抬头。

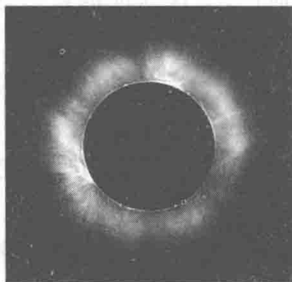


图 2-64　日全食时看到的太阳高层大气——日冕

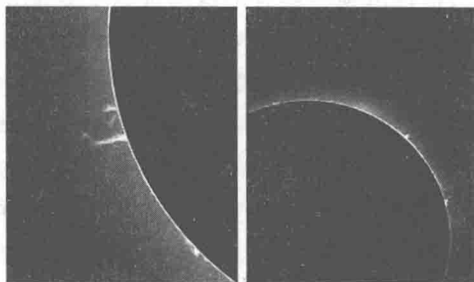


图 2-65　日全食时看到的日珥（左）和色球层（右）

太阳内部我们是看不到的。太阳光球密度只有水的几亿分之一，按说这么稀薄应该非常透明了，实际不然，人们很难看到光球层几百千米深度以内的太阳辐射。

3. 对太阳的结构和光热来源的猜测

19 世纪以前，人们对太阳的结构知道很少，基本停留在任意猜测层面。18 世纪末，威廉·赫歇尔就认为太阳是与地球一样的固体星球，只是其大气上遍布大火，由于低层浓云的隔热，太阳表面凉爽宜人，可能有植物、动物甚至人类，黑子可能是大气的空洞，“太阳人”可以透过黑子窗口看到外面的星空(图 2-66)。他把太阳大气上明亮的云彩称作“光球”，这个名字沿用至今。后来他的儿子约翰·赫歇尔发现黑子实际是大气旋涡。但直到 1840 年仍有天文学家相信太阳上可以住人。

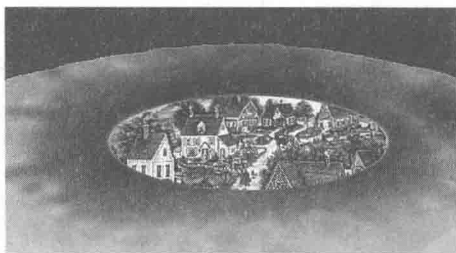


图 2-66　威廉·赫歇尔设想，黑子是太阳大气的空洞，透过它可看到“太阳人”的踪迹

19 世纪中叶，科学界已经普遍认为太阳从里到外是个大火球，再无人相信太阳表面能住人了。能量转换和能量守恒定律的出现，也促使人们开始思考太阳热量的来源。

1848 年，德国物理学家迈耶(J. R. Mayer)仔细研究了这个问题，他从日常生活的燃烧现象出发，先假设：太阳热量来自煤的燃烧，但经过计算他发现，太阳不断放出那么巨大的光和热，其燃烧一定非常剧烈，即使整个太阳都是个大煤球，空

间又有充足的氧供它使用，这个煤做的太阳也只能烧 2 500 年。因此，迈耶很快就否定了这种设想。

迈耶又推测，如果大量流星像冰雹一般不断撞击在太阳表面上，其巨大动能转化成的内能也可以维持太阳的光热。但这种假设不久也被否定了，因为空间虽有流星体，但分布极为稀疏，大都沿椭圆轨道绕太阳转动，地球穿过它们的轨道时，也仅出现一些对地球温度毫无影响的流星雨而已，无任何证据表明会有密密麻麻的流星体飞蛾扑火一般奔向太阳。

1854 年德国物理学家赫尔姆霍兹(H. Helmholtz)排除种种奇想，直接用收缩过程来解释太阳的热量。根据物质位能转化为内能的守恒关系，他求出，太阳只要每年收缩 100 m，就足可以维持目前的光热。这样，且不说太阳过去已经收缩了多久，仅按目前的半径，它的热量就足可以持续上千万年。

当然，到了 20 世纪，人们发现上述种种说法都是错误的。太阳能量来源的科学理论，我们在“下篇”再详细介绍。

4. 康德-拉普拉斯星云说

太阳这团“中心火”给太阳系带来光明与和谐，那么它带领着太阳系从何而来，向何而去？拉普拉斯于 1796 年提出一个“星云假说”(图 2-67)，该假说认为，太阳系可能起源于一团巨大的、旋转而炽热的原始星云，随着星云中物质的吸引收缩，转动不断加快，收缩时其旋转平面上留下了 7 个土星环样的东西，慢慢凝聚形成当时已知的七大行星，其余大部分物质聚集于星云中心，形成太阳。

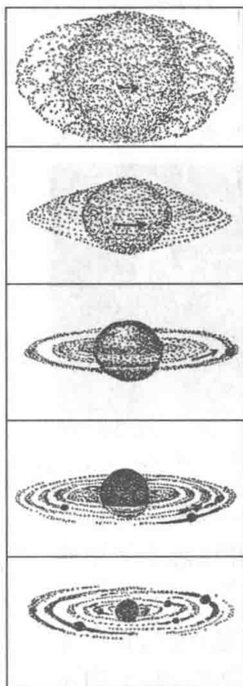


图 2-67 拉普拉斯关于太阳系起源的星云假说

拉普拉斯的这个假说收在他的一本普及、总结性读物《宇宙体系论》的附录中。因拉普拉斯的巨大声望，这个假说引起了人们的高度注意，人们翻检出 41 年前曾出现过一本书《宇宙发展史概论》，其中已经提出了太阳系起源的星云假说(图 2-68)，这部书是德国哲学家康德(I. Kant，公元 1724—1804，图 2-69)在早年匿名发

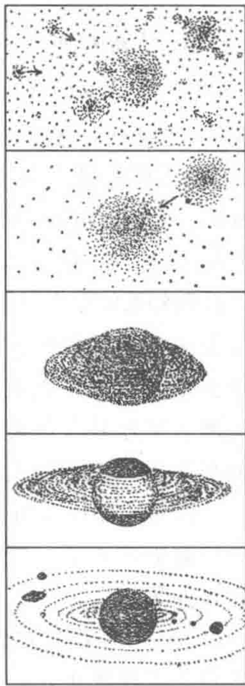


图 2-68 康德关于太阳系起源的星云说

表的，不过康德假设的星云是低温、以微粒为主的，由于引力和斥力共同作用，最后凝聚成今天的太阳系。看来拉普拉斯没有读过康德的这部书，因为两人提出的星云结构、演化方式差别很大。另外，康德是用一整部书来论证他的假说的，旁征博引，细致入微；而拉普拉斯的星云说仅是一部巨著最后若干附录中的一条，只有几页篇幅，似乎他自己并不很认真看待这个假说。



图 2-69　康德

但是，这两个假说在历史上影响却非常之大，被称作“康德-拉普拉斯星云说”。它改变了从古希腊传统以来宇宙无演化过程的僵化自然观。因此，不但康德的《宇宙发展史概论》不断再版，成为科学名著，拉普拉斯的总结性读物《宇宙体系论》也因为这篇附录而名垂青史（图 2-70）。现代科学证明，康德-拉普拉斯星云说除一些具体的机制外（如角动量分布异常的解释等），大的演化过程还是成立的。



图 2-70　关于星云说的两部名著

确定测量宇宙的基线——“天文单位”

在天体的各种数据中，天文学家最关心的就是天体到我们的距离了，知道了天体的距离，其他问题都可能迎刃而解。就各个天体来说，天文学家最关心的则是太阳到地球的距离。在太阳系里，有了三角法和开普勒第三定律，只要知道了地球到太阳的平均距离，整个太阳系的其他距离都可求得；用视差法测量遥远恒星的距离时，也要以日地平均距离为基准。所以，日地平均距离是个极为重要的天文常数，以至于天文学界用“天文单位”来称呼它（图 2-71）。

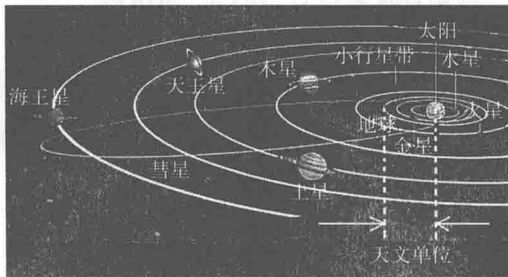


图 2-71　天文单位

古希腊人就曾试图测出日地距离。阿利斯塔克发现，当月亮为上弦（或下弦）时，月亮、地球、太阳三个天体恰构成一个直角三角形，这时如果测出日、月对地球的张角，就能算出日月距离之比，知道了地月距离，就可以求出日地距离了。他经过测量，得出当月亮上弦时，日、月的角距是 87 度，由此求出日地距离是月地距离的 19 倍（图 2-72）。

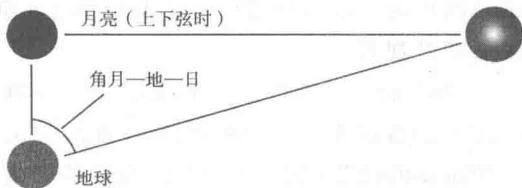


图 2-72　阿利斯塔克求日、月相对距离原理

这种三角法显示出古希腊人高明的思维方式。但他测得的误差太大,因为月亮上弦时,日、月的角距可达 89.8 度,日月距离之比要比他求出的数据大得多。

到了近代,开普勒定律出现以后,行星、太阳、地球之间的相对关系就完全在人们的掌握之中了,只要精确测得某一给定时刻某行星到地球的距离,就可立刻推出日地距离值。那选哪些行星好呢?当然要选会比太阳离我们更近的行星,那只有火星和金星最合适。火星大冲、金星凌日时,它们离地球特别近,是天文学家观测它们并确定天文单位的最佳时机。

测量行星到地球的距离,需用视差法,或称三角法。比如测火星距离:选两个距离相当远的天文台,最好一个在北半球,另一个在南半球,同时测量火星在恒星背景上的位置。这样,两个天文台可以构成一条基线,按三角学原理,知道了基线的长度和在两头观测时背景恒星的位移角度,就可算出火星的距离。

近代第一个比较精确测定了日地距离的是卡西尼。卡西尼原是意大利人,1669 年应法国国王路易十四的邀请前往法国,任巴黎天文台台长,出于过分特立独行的动机,以及对实证观念的僵化理解(测不到恒星视差),在牛顿力学已经被几乎公认的时代,他仍然反对日心说。1672 年,卡西尼用三角法观测火星大冲,最后求得日地平均距离为 1.62 亿千米,比今值要大一些,但这在当时是一个相当有实际意义的结果。

1680 年左右,哈雷则提出用金星凌日来测定日地距离,期望能得到更精确的天文单位值。当金星凌日时,从地球上相距很远的两点同时观测,会看到它们投影在日轮上的位置有所不同,测好地上两观测点的距离,再比较两地测得的金星在日轮上的投影位置,因为由开普勒定律已经知道日地、金地的距离之比,这样就可推出日地距离了(图 2-73)。

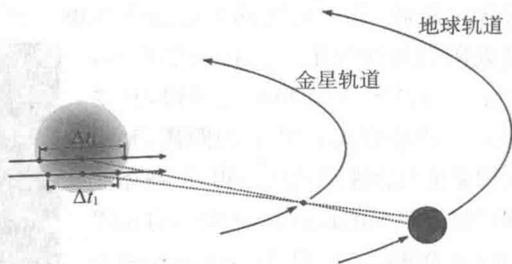


图 2-73 利用金星凌日确定日地距离原理

金星凌日是很罕见的天象,隔一百多年才会出现两次,哈雷提出金星凌日法之后,需要等到 1761、1769 年才能迎来金星凌日,这比哈雷预言的哈雷彗星归来的时间还晚。哈雷知道他肯定无缘参与此事了,但他特别希望后人能按这个方法去做凌日观测。

1761 的金星凌日是一次“擦边凌”,不能用。1768 年,英国著名航海家 J. 库克(J. Cook)首航来到南太平洋,除了测绘澳大利亚和新西兰的海岸线外,他还有另一项重要的任务:英国皇家学会委托他在南半球观测金星凌日,以便与北半球的观测数据进行比较。1769 年 6 月 3 日金星凌日这天,库克在澳大利亚东面向风

群岛中的塔希提岛观测，恰好这天岛上的天气十分晴朗，库克的观测非常成功，获得了南半球唯一的数据。北半球如美洲的加利福尼亚、休斯敦和欧洲北部挪威的观测也都很成功。法国天文学家拉朗德(J. Lalande)集中了他们观测得到的所有结果，最后算出日地距离是 1.53 亿千米。

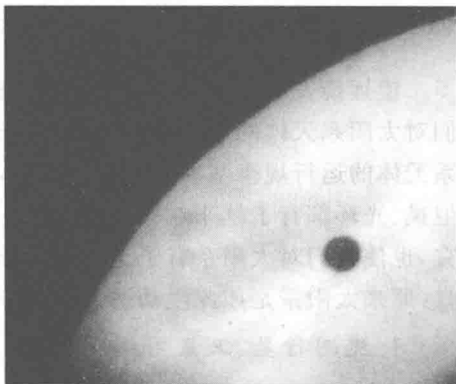


图 2-74　金星凌日（笔者 2004 年 6 月 8 日北京时间 15 时 18 分摄于北京古观象台）

1874 年、1882 年又发生了两次金星凌日，许多国家的天文学家都投入了观测，又得出了更接近今值的结果。由于后来有了多种更加精确的方法，2004 年、2012 再发生金星凌日(图 2-74)时，人们已经没有兴趣也没有必要再使用这种方式测定日地距离了。

到了 20 世纪，天文学家已发现了很多小行星，有些小行星比火星还接近地球，当它们非常靠近地球时，测量它们的距离一定能求出更精确的天文单位值。1898 年发现的爱神星冲日时离地球很近，因此大受青睐。1930 年是爱神星被发现以来的第一次大冲，国际天文学联合会组织了 14 个国家的 23 个天文台(包括中国的徐家汇观象台)，开展了规模空前的联合观测。后来，天文学家利用这次观测得到的近 300 组数据，花了整整 10 年时间进行综合处理，最后得出 1 天文单位为 1.498 5 亿千米，这是一个空前精确的天文单位数值。

空间时代到来以后，可以用雷达直接测定行星的距离。在宇宙飞船上携带能反射无线电波的设备，宇宙飞船到达行星软着陆后，地面雷达向它发射无线电波并接收回波。记录这个时间差，修正了各种因素引起的时间误差后，就可以算出行星到地球的距离。

这样测定的行星距离比三角视差法测定的要精确很多，由此得出的日地距离也就非常精确了。1970—1974 年间，美国麻省理工学院和美国喷气推进实验室的科学家做了 4 次行星雷达测距。1976 年，根据新方法测得的数据，国际天文学联合会把 1 天文单位确定为(149 597 870 691±30)m。

几百年来，天文单位因为被定义为“地球到太阳的平均距离”，多少代人都在追求更精确的“天文单位”值，虽然越来越精确，但精确到一定程度时人们发现，由于受其他天体摄动的影响，日地距离的值一直会有微小变化，如果坚决以此来定义“天文单位”的话，“天文单位”将永远是个变量。因为现代社会对米长、秒长都已有了严格的物理定义，出于对天体测量、天体力学、星际导航等需要，需要一个固定不变的天文单位值。于是，2012 年 9 月在中国北京举行的国际天文学联合

会大会(IAU)上,以投票的方式确定了天文单位的固定数值:149 597 870 700 m。

以后,天文学家可以对日地平均距离继续精密测定,但 1 天文单位的值将保持不变。目前,日地平均距离实际为 1.000 000 023 6 天文单位。

行星、卫星和小天体——异彩纷呈的太阳系

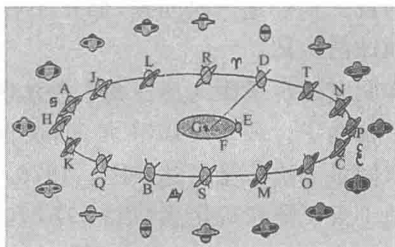
望远镜发明之后,由于伽利略立刻就看到了金星的盈亏、木星的卫星,于是人们对太阳系天体的观测投入了极大的热情。到 19 世纪末,天文学家不但对太阳系天体的运行规律基本做到了如指掌,而且对行星的大气、温度、自转以及它们的卫星、光环都有了越来越多的了解,小行星的发现、对彗星和流星体的观测和研究,也使人们对太阳系有了全新的认识,从哥白尼的日心说模型到现在的真实场景,原来太阳系是如此生动诱人、异彩纷呈!

1. 观测行星、卫星

在伽利略之后很久,人们一直试图设法看到行星表面的细节,遗憾的是,那时的望远镜分辨率低,色差严重,不少人报告说他们看到了水星、金星上的山,火星上的云,测到金星自转与地球相仿等,其实都是“观测+想象”的结果,所以严肃的科学家常用隐语发布自己的观测报告,这样既保证自己发现的优先权,又防止自己把幻觉当真实闹出笑话。伽利略观测土星时,就曾发表隐语说土星有两个巨大的卫星。

1655 年,惠更斯(图 2-75)用他的 37.5 m 长的单镜片望远镜发现,伽利略说的土星两端的凸起物原来是一条漂亮的光环,土星光环的发现使人们认识到太阳系的行星形态是丰富多彩的。



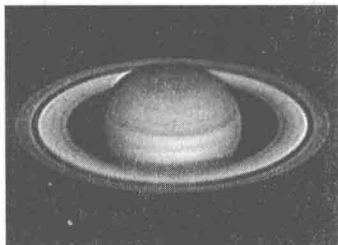


惠更斯在天文、物理等领域都做出过重要贡献。他发现了土星的第一颗卫星泰坦,1656 年又发现猎户座大星云。他还提出光的波动说,发明了惠更斯复合目镜、天文钟的前身——惠更斯摆钟,继布鲁诺后又重提恒星都是遥远的太阳的说法等。右图是他为解释土星环的形状变化乃至“消失”所画的图。

图 2-75　惠更斯(左)及他绘制的土星环形状变化图(右)

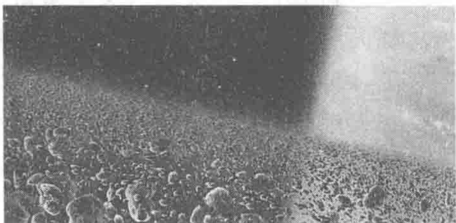
二十多年后，卡西尼（图 2-76）又发现土星光环不是连续的一片，而是由若干环带组成的，环带之间有空隙，从此人们称这些空隙为“卡西尼环缝”（图 2-77、图 2-78）。卡西尼发现过 4 颗土星的卫星，测定了相当精确的火星自转周期。


图 2-76　卡西尼


图 2-77　卡西尼时代看到的土星光环及其环缝

最早人们认为土星光环是固体环，但这种整体公转的形式不符合开普勒定律。1849 年法国数学家洛希（E. Roche）发现光环恰好处在土星能够撕裂其卫星的距离之内（此距离叫“洛希极限”），推测光环是由被土星潮汐力撕裂的卫星碎块形成。1859 年英国物理学家麦克斯韦（Maxwell，公元 1831—1879）证明了土星环不可能是整块固体或弥漫的气体，20 世纪的观测、探测证实了这一点。

木星由于体积较大，离我们又不是很远，所以 17 世纪就有人用望远镜看到了木星表面有隐约变化的云状环带。在 19 世纪，受拉普拉斯星云假说的影响，人们普遍认为木星内部是炽热的，能自己发一部分光，是个未成形的小太阳。20 世纪，随着天体物理学的飞速发展，这种观点被当作无稽之谈抛弃，但后来通过综合手段证实：木星向外发射的能量确实大于它吸收太阳的能量。


图 2-78　土星光环细部想象图

木星的卫星很多（图 2-79），从地球上看去，它们经常被木星遮掩，而每次遮掩的起始、结束时刻都可以提前推算并编成历表，因此观测木星的卫星可以定时刻，这对大洋中的航船非常重要，所以那时木卫简直成了航海家的“授时台”。航海家根据观测木卫食可以精确校对时钟，以便于测得航船在大海上的位置。

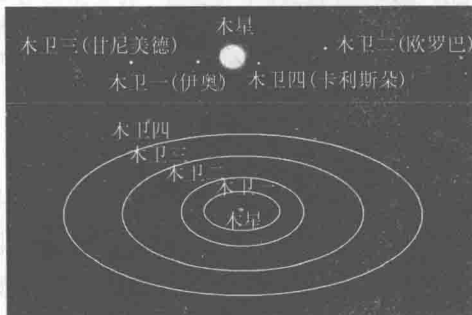


图 2-79　木星及其大卫星

上图是望远镜中看到的木星及其 4 个大卫星，下图是它们的轨道图，这 4 颗卫星以几乎正圆的轨道在木星赤道面上运动，图示是按木星半径和卫星轨道半径的比例作出的。

丹麦天文学家罗默(O. Romer)通过木卫被食时刻的变化,推测这种周期性变化是光线到达地球通过或不通过地球轨道直径距离的结果,由此推导出光速为21万千米/秒。这是第一次求出光速,打破了光速无限的传统观念。

人们最感兴趣的行星是火星,因为火星在各方面都与地球有些相似,因此天文学家称火星为"空中的小地球"。1666年,卡西尼就曾宣称,他看到火星的两极有白色亮斑,后来赫歇尔用他自己磨制的金属面反射望远镜证实了卡西尼的发现,并认为这是与地球北极冰盖相似的现象(图2-80)。1862年天文学家又发现火星表面的颜色有季节变化,随后又被宣称发现了"运河",结果引发了关于"火星人"存在与否的长期争论(见"下篇"第五章)。

由于地球有一颗卫星,木星在1892年前一直被认为有4颗卫星,所以很多人一直认为轨道处于地球、木星之间的火星应该有两颗卫星。英国讽刺小说家斯威夫特在其1726年出版的《格列佛游记》中,就提到想象中的海外国家"勒皮他"的天文学家观测到两颗火星卫星,一颗是10小时绕火星转一周,另一颗是21.5小时。到1877年,美国天文学家霍尔(A. Hall)果真发现火星有两颗暗淡的小卫星,绕火星公转周期分别是7.5小时和30小时(图2-81)。他曾以为他发现了三个卫星,因为内圈那个卫星运行速度太快,他先在火星的这一边看到它,过几个小时却在火星的另一边看到了它。这两个卫星暗如碳粉,是太阳系中颜色最深的天体,所以很难观测到。霍尔用火星战神的两位侍者福博斯("可怕")和德莫斯("可怖")来命名它们。

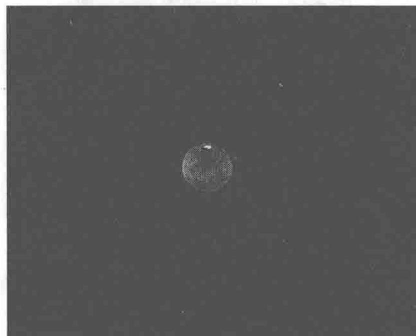


图2-80　在望远镜中看到的火星及其极冠



火卫一距火星中心仅是火星半径的2.8倍,所以在火卫一上看火星,火星会占据几乎一半的太空,能清晰地看到火星上的地形,因为太近,根本看不到火星的两极。

图2-81　从火卫一上看火星

金星是最明亮的一颗行星,按说我们应该对它了解最多,其实不然,在早期的望远镜里看去,金星的表面永远混混沌沌,找不到什么可靠的标志物。那时除了靠天体测量和天体力学手段知道了它的大致直径、质量外,人们对金星知之甚少,连它的自转速度也搞不清。

1672 年，卡西尼发现金星有一个卫星，并用埃及女神塞斯(没有凡人看过她面纱下的脸)命名。随后很多年，人们都相信这颗卫星是存在的，但后来谁也找不到了。据推测，可能是某遥远星体多次出现在金星一旁造成的错误判断。

金星凌日是一种罕见而有趣的天象，自从望远镜发明以来，只出现过 7 次(周期是 243 年 4 次)，1769 年出现金星凌日时，各国科学家在南/北半球观测，推算出了可观的日地距离值。而俄国著名科学家罗蒙诺索夫(M. Lomonosov)在观测时发现，凌日时金星黑色圆面外有一圈白光，使太阳轮缘位置发生歪曲。他认为，这说明金星表面有大气，他就此又进一步推测金星上有生命甚至有金星人。

现在，我们证实和分析行星、恒星的大气都是非常容易的，但在罗蒙诺索夫的时代，一切分析、仪器都无从谈起，他用如此简单的手段和碰巧的方式，第一次证明地球之外其他天体也有大气，是极为可贵的。

随着望远镜的不断改进，天文学家发现金星的表面还是混混沌沌，这说明金星不仅有大气，而且大气极为浓密，永远布满乌云，看来想看到金星表面的细节，只有另想办法了。

20 世纪，天文学家已经能用雷达法轻易测得金星的自转周期为 243 天，逆转。此处还发现了一个奇特的现象：金星每自转 5 圈，就用同一个面来面对地球(严格说是 5.001 个金星日)，这时两颗行星距离也是最近。有人解释说这可能是潮汐锁定的结果——可是潮汐为什么不锁定金星一面永远对着太阳，而是转 5 圈就对着地球一次呢？这会不会仅仅是一种巧合？

关于 1761 年的金星凌日，还有一件天文轶事。法国天文学家勒让提(Le Gentil)，迷狂般地要观测这次金星凌日，因为在法国看不见，他决定去印度观测。于是他提前一年出发坐船去印度，不巧的是，他到达印度时正遇上了英法交战，英军不许他登岸。无奈，他只好临时决定在船上观测，由于海浪的颠簸，勒让提最终一无所获。虽然白来了一趟，他却没有灰心，因为金星凌日总是成对发生，8 年后同一地点还会出现一次金星凌日。先回法国到时再来？路上要耗费几年的时间。于是他决定留在印度，等待 8 年。这期间，他学习了当地的语言、民俗、气候、潮汐、天文知识等，可是到了 1769 年 6 月 3 日他做好一切观测准备，当金星要走进日面时，突然天气变坏，风雨交加。可想而知，这个打击对他是极大的，因为在有生之年他不可能再看到金星凌日了。从打击中恢复过来后，他踏上了归程。两年后，他回到巴黎，哪知人们误以为他早已客死异乡，已有人继承了他的财产，妻子嫁给了别人，科学院院士的名额也被人填补。

为观测金星凌日，勒让提有一等八年的决心，可见此人的性格是极为坚韧的，果然，他像一个年轻人一样，一切从头开始，结婚、挣取财产，并将在印度的经历、

见闻写成两本书，结果后来他的名气比他当院士时还大，又成功地生活了二十多年。为了一次天象的观测，他竟然在异国他乡居留8年，最后倾家荡产、妻离子散。若在古今中外选一位最执着的天文爱好者的话，勒让提可谓当之无愧。

2. 小行星的发现

讲述小行星的发现，首先要提到的是提丢斯-波得定则。1764年，37岁的德国中学教师约翰·提丢斯(J. D. Titius)，在翻译法国人博内的《自然探索》一书时，把自己的一个发现作为脚注加了进去。这个发现是：六颗行星轨道半径从水星开始依次是4、4+3、4+6、4+12、4+48、4+96。类似的数字关系以前别人也不止一次提出过，但提丢斯公布的这一串数字却是一个可用通项公式表示的数列，今天看，如果将上述数字都缩小到原来的十分之一，其公式可以写为：$a_n=0.4+0.3\times2^n$($n=-\infty,0,1,2,4,5$)。由于提丢斯仅是一个中学教师，这个发现没有引起广泛注意。

1772年，柏林天文台台长约翰·波得(J. E. Bode)在其《天文学导论》中，将提丢斯的这串数字写了进去，未注出处。而且明确提出还应插入(4+24)这个数字(对应$n=3$)，认为此轨道上存在一颗行星。由于他的声望和该书的广泛流传，这一串数字关系从此广为人知，被称作"波得定则"。

其实，敏感的开普勒当年根据行星距离的直觉，就认为火星、木星之间应有一颗行星，但传统普遍认为天上的行星只有5个，所以无人理会开普勒的奇谈。波得定则出现后，这一串数字包括应插入的"(4+24)"也常常被人认为是巧合与附会，没太当真。

9年后，赫歇尔发现了天王星，经测定它到太阳的距离完全符合这一定则(表2-1，$n=6$的天王星的观测值为19.18)。这时人们才相信波得定则是真实可靠的，并追溯到它最早的发现者，从此称之为"提丢斯-波得定则"。

表2-1　关于行星的提丢斯-彼得定则值和观测值的比较

行星	定则值	观测值	行星	定则值	观测值
水星	0.4	0.39	$n=3$	2.8	—
金星	0.7	0.72	木星	5.2	5.20
地球	1.0	1.00	土星	10.0	9.54
火星	1.6	1.52	$n=6$	19.6	19.18

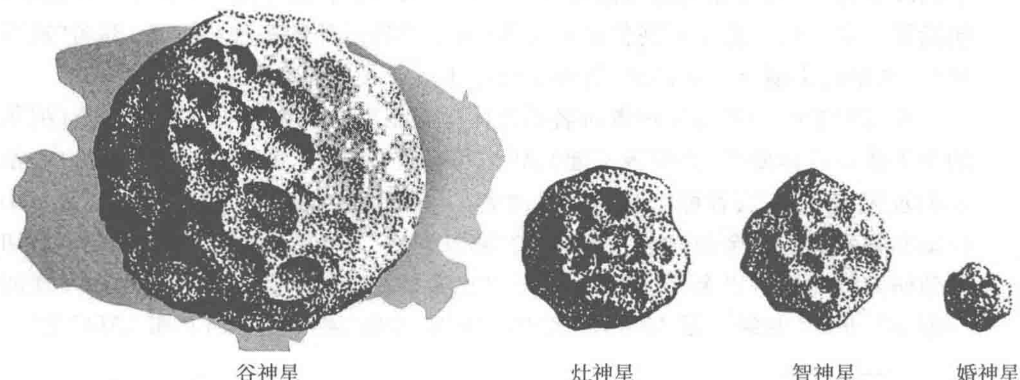
这个成功事例使天文学家坚信，在$n=3$即轨道半径为2.8天文单位处，一定有一颗行星存在。18世纪末，几位德国天文学家组成"太空巡逻队"准备开始分区搜寻，但搜寻还未真正开始，这颗行星已被意大利的西西里岛天文台台长皮亚齐(G. Piazzi，公元1746－1826)无意中发现了。

1801 年 1 月 1 日晚上，皮亚齐为编制精密的恒星星表，对恒星进行例行观测，他在金牛座测量了一颗亮度为 8 等的恒星，但第二天就发现它移动了 4′，这说明它不是恒星，很可能是彗星。皮亚齐跟踪观测两个月后，该星淹没于太阳的光辉中，几乎要失踪了，幸好这时德国大数学家卡尔·高斯(公元 1777－1855)发明了三次观测定轨道方法，根据从高斯算出的轨道预报的位置，1801 年 12 月 31 日人们又找到了它。它的运行轨道接近正圆，距太阳约 2.77 天文单位，而且它在望远镜视野里总是个光点，说明不是彗星，分明是人们正要寻找的行星。

那么，与火星、木星相比，它的亮度为何这样低？人们猜测，这颗行星虽然比地球大，但其表面是纯黑色，暗如煤球，所以看上去只有 8 等。但随后赫歇尔用他的最高倍望远镜，怎么也没有看出它的圆面，说明它实际很小，后来测得其直径约为 700 km，仅是月亮的 1/4。皮亚齐用西西里守护神的名字将其命名为“谷神星”。

皮亚齐是一位狂热的追星者，1788 年他去伦敦购置天文仪器，结识了赫歇尔，迷上了赫歇尔自制的巨大望远镜，因观测时太专心，从赫歇尔大望远镜口旁边很高的梯子上摔了下来，把手臂都摔断了。

1802 年，德国业余天文学家奥伯斯(H. Olbers，他更知名的贡献是关于天空为什么黑暗的“奥伯斯佯缪”)在类似的轨道上又发现了一颗行星，取名智神星，它比谷神星还要小。原来这个轨道上的行星不止一颗，而且又都这么小，所以赫歇尔提议把它们叫作“小行星”，以前“大的”行星就被称为“大行星”了。奥伯斯猜测，这两颗小行星是该位置原有的一颗大行星瓦解的碎块，还应有其他小行星等待我们去发现。这激起了天文学家寻找小行星的热潮，果然，1804、1807 年又分别发现了两颗，分别取名为婚神星、灶神星，大小与前两颗属同一量级(图 2-82)。



本图中是最先发现的、也几乎是四颗最大的小行星。谷神星的质量可能占火、木轨道间全部近 100 万颗小行星质量总和的一半以上，图中谷神星的背景是中国青海省的版图。

图 2-82　小行星大小的比较

之后将近40年，人们再没找到新的小行星，天文学家对寻找小行星的兴趣一度降低了，很多人相信天上只有4颗小行星。但德国一个小邮政局的局长、天文爱好者亨克(K. Hencke)坚信还有小行星存在。从1830年开始，经过15年的默默搜寻，1845年12月8日，他终于发现了一颗新的小行星——义神星，平均直径119 km。1847年他又发现了第6号韶神星。随后天文学家又发现了一大批小行星，但它们都非常之小，比前4颗小得多。以后连年不断地发现小行星，越积累越多。它们的运行轨道大多数在火星、木星轨道之间，但也有不少例外。

照相术发明后，小行星发现速度大大加快，到1900年共发现三百多颗，1980年正式编号的有两千多颗；由于观测手段的飞速发展，近30年小行星发现速度更是快得惊人，1995年已6 100颗，2001年达3万颗，2005年超8万颗，2011年超28万颗，截至2015年1月7日，获得永久编号的小行星数是422 636颗，算上已经发现、仅获临时编号的，更达1 182 246颗之多。①

小行星的数量虽多，但大都是类似于粉碎状态的石块，所以其质量总和很小，估计只有月球的5%，不可能是一颗行星爆炸形成的。相反，它们应是未形成行星的星子，被木星大量“吞吃”后剩余的“面包渣”。天文学家规定，一个绕太阳运行的“石块”，一般需直径20—50 m以上才能被看作小行星，再小的只能算是流星体了。

天文学家对小行星很感兴趣，是因为数量庞大的小行星可作为探讨太阳系起源的好样本；但天文学家也为它们大伤脑筋，因为有一些小行星的轨道非常接近地球轨道，会给地球的生态安全造成隐患。

另外，2006年国际天文学联合会定义了“矮行星”：具有足够的质量使其自身呈圆球状，但不能清除其轨道附近其他物体的天体。按这个定义，小行星谷神星、包括冥王星在内的若干颗柯依伯带天体(海王星轨道外的一种小行星)都属“矮行星”。如果咬文嚼字一下的话，谷神星已经不属于小行星之列了。

小行星是唯一可由发现者命名的天体。当至少4次在回归中被观测到(柯依伯带天体不这样要求，否则等不起)、轨道可精确测定时，就会得到小行星中心给予的永久编号，发现者可以对小行星命名。未被命名的小行星很多，所以命名小行星有很大的选择余地，如中国命名的“陈景润星”选7681号，7 681是个素数，切合他研究的对象；“巴金星”则选用恰好是巴金的生日——11月25日那天发现的一颗小行星；临时编号是1997AO22的一颗取名为“澳门星”，因其带“AO”字样。

① 此数据由北京天文馆朱进研究员提供。朱进是国际知名的小行星研究专家，1994—2001年，他主持的国家小行星研究项目共发现了获国际小行星中心暂定编号的小行星2 728颗，其中已有1 214颗获得永久编号和命名权。

至于永久编号为整千的则都献给了大人物，如1000号名为皮亚齐，2000号名为赫歇尔，4000号名为伊巴谷，8000号名为牛顿等，而10000号干脆谁也不给，就叫“一万”了。20000给了第一次发现的大于谷神星的小行星——伐楼拿(柯依伯带天体)。柯依伯带天体“夸欧尔”(Quaoar，中名“创神星”)于2002年发现，被定为第50 000号小行星，有人认为它应该被升格为矮行星。第59000号则命名为Beiguan(北京天文馆)，第257428号被命名为“周杰伦星”。

3. 认识彗星和流星体

哈雷对彗星回归的预言被证实之后，天文学家对彗星的热情和了解日益加深。人们开始从被动等待明亮彗星的出现改为积极寻找彗星。法国天文学家梅西叶(C. Messier)是系统寻找彗星的第一人，这位彗星猎手一共发现了21颗彗星。

他在搜寻彗星时经常发生这样的事：在望远镜中欣喜地盯住一颗彗星，做好记录后过多少天再看，发现这颗“彗星”还在原地，原来是错把星云当成了彗星。为了避免自己和别人重搞这样的空欢喜，他决心把天上云雾状的星云、星团专门建档，让观测者事先记住。因为蟹状星云是最容易“鱼目混珠”的一个，所以被列为第一位，称M1，为稳妥起见，他把昴星团也列了进去，称M45。到1784年，他一共找到类似的天体103个，后来又被扩展到110个，这些星云、星团(也包括个别亮星系)至今仍保留一个共同的名称——梅西叶天体。

周期最短的彗星叫“恩克彗星”，它恰恰也是继哈雷彗星之后第二个被计算轨道预期归来的彗星。这颗小彗星是法国的庞斯(J. Pons)于1818年发现的，当年德国的恩克(J. Encke)计算出它的运行周期为3.5年，将于1822年回归，届时它真的出现时，人们便按先例将其命名为“恩克彗星”了，结果它的发现者反而不为人知。既然计算星体轨道的方法已经成为一种程序，那么发现彗星实际上才是一种辛勤的、不可替代的劳动，所以以后的彗星基本都用发现者的名字来命名了。(图2-83)



图2-83　1858年出现的多纳提彗星，背景是巴黎(这是照相术出现之前画得最精确、最科学的彗星图之一，彗头附近的亮星是大角星)

由于彗星的庞大身躯，18世纪时人们非

常担心彗星或彗尾撞击地球，法国动物学家布丰(C. Buffon)还提出过太阳系起源的“灾变说”，认为行星是一个大彗星撞击太阳溅出的物质形成的。到19世纪初，智神星的发现者奥伯斯指出：彗尾仅是一些微小的质点，被太阳光的力量驱逐形成。随后更有人指出：彗发、彗尾都非常稀薄，不过是看得见的“真空”而已。

但普通人对彗尾扫荡地球的恐惧一直延续到1910年哈雷彗星回归，因为那年地球恰恰从哈雷彗星的尾部穿过。社会上到处风传“地球可能会被彗尾扫得粉碎”(图2-84)，结果引起了一场天文恐慌。欧洲有人准备好氧气瓶和防毒面具，以防彗星的毒气侵袭；商家乘机推出拯救万民的“彗星丸”，据说吃了可以解毒，居然十分畅销。等1910年5月19日地球真穿过彗尾时，人们看到的却是一幅相当壮观的景象：凌晨两点半，哈雷彗星的彗尾在仙后座方向以惊人的速度展开，越散越宽，几乎弥漫整个天空，最后其亮度简直盖过了月光，几个小时之后彗尾转向另一方向，开始收缩(图2-85)。



图2-84　漫画：彗星撞碎地球



图2-85　哈雷彗星的尾巴扫过地球

20世纪出现过多次“天文恐慌”。1921年，土星环“消失”(薄薄的侧面朝向我们)时，被报纸炒作成为“土星环已经崩溃，碎片以巨大速度飞向地球”，引起又一轮的恐慌。1938年10月30日夜，美国哥伦比亚广播公司播出火星人入侵的广播剧，更让人们信以为真，引起美国几个州的极大骚乱。1982年的“九星联珠”也曾让人担心了好几年。其实这一切，都有些“人生识字忧患始”的味道。

欧洲对流星的了解，比对新星、彗星的认识还要晚得多，英语中“流星”和“大气现象”都是“meteor”，直到18世纪末学术界还认为流星是大气中的偶现火焰。流星确实是大气中发生的现象，但欧洲人一直不承认它们的源头在大气层之外，1802年拉普拉斯推测流星是月球火山喷出的石头，已经是够大胆的了。至于“天上会掉下石头来”的说法，欧洲学术界更是一直否认，认为目击、收集陨石全是骗子的胡言。直到1803年，才有天文学家承认了陨石的存在，并认为它们是流星体


天官書

月蝕三十六

彗星三見

宋襄公時星隕如雨

天子微諸侯力政

五伯代興

更爲主命自是之後衆暴寡大并

小秦楚吳越夷狄也爲彊伯

田氏篡齊

三家分晉

并爲戰國爭於攻取兵革更起城邑數

屠因以飢饉疾疫焦苦臣主共憂患其察禨祥

候星氣尤急近世十二諸侯七國相王言從衡者繼

图 2-86 《史记》中的流星雨记录

的残留，这比中国晚了两千多年，中国公元前的《春秋》《史记》等典籍里即有“陨石于宋五”“星陨如雨”“星坠至地乃石也”的记载。(图 2-86)

流星有时会成群而至，形成壮观的“流星雨”，这是地球穿过“流星群”造成的。当地球穿过流星群时，流星们本是平行着奔地球而来，但正如我们驾驶汽车在公路上疾行时，看到路灯、树木、地面标志都好像从正前方的“灭点”(透视投影术语)出发奔我们而来一样，流星雨也好像从天上的某一点出发向各个方向散开，这一点就是地球公转与流星群奔来的合力方向，如果这一点位于某星座，我们就称这次流星雨为“某某座流星雨”。(图 2-87、图 2-88)


图 2-87 一颗明亮的流星——火流星照片


图 2-88 地球的巨大伤疤(5 万年前，一颗铁质小行星撞击在美国亚利桑那州，形成的陨石坑相当于整整 20 个足球场大)

最有名的流星雨是狮子座流星雨。据记载，1833 年 11 月 13 日，北美洲一带人们看到的狮子座流星雨好像节日的焰火，每小时有上万颗。目击者称“无数的流星流向四面八方，几乎没有空隙。有的比金星还亮，有的比月亮还大，宛如大片的雪花，纷纷飘落。”这次流星雨一直持续到天亮才隐没不见。普通百姓以为是天上的星星掉下来了，所以晚上天黑赶紧跑到屋外，看看天上还有没有星星，是不是都掉光了。

随后亚当斯经计算证明，狮子座流星雨所在流星群的轨道是个扁椭圆，33 又 1/4 年绕太阳一周，平常的年份，狮子座流星雨并不特别显著，但它大约每 33 年出现一次持续多年的极盛期，人们可能会看到极为壮观的流星雨。亚当斯正确预

言了显著的流星雨在 1866 年的前后几年再度出现。

狮子座流星雨对人们生活的影响是很大的。1933 年，我国现代作家施蛰存曾以《狮子座流星雨》为题目写过散文。20 世纪和 21 世纪交替的几年里，天文学家和天文爱好者又迎来了一轮观看狮子座流星雨的高潮，那几年，许多人都看到了狮子座流星雨爆发时的壮观景象，并拍摄到许多难得的流星雨照片。（图 2-89）



甲



乙

甲图说明作画者还没有“辐射点”的观念，以为流星雨是从天上“随意”发射的；而乙图作者已经基本有了辐射点观念。

图 2-89　西方人有感于 1833 年狮子座流星雨的壮观而作的两幅画

后来天文学家发现，流星雨与彗星的关系密切，很多流星群都是彗星瓦解形成的，形成狮子座流星雨的彗星是 1866 年发现的坦普尔-塔特尔彗星。1826 年奥地利人比拉发现的比拉彗星（永久代号为 182611），周期为 6.6 年。到 1845 年第四次回归时，人们亲眼看到了它的分裂，分裂成两颗彗星，再次回归时二者分得更开，再下次应该回归时已经彻底瓦解不见，到 1872 年地球穿过它的轨道时被“淋”了一场极大的流星雨。

五、走近恒星世界



自从日心说获得广泛承认、牛顿力学大厦建成、望远镜技术日渐成熟之后，展现在人们面前的已经是一个异彩纷呈的太阳系了。这个太阳系就是那个时代人们心目中宇宙的主要图景。至于恒星，由于测不出它们的视差，说明它们极为遥远，想必别有一番天地，可是也正因为它们极为遥远，我们很难获得它们的信息，也许它们真是附在遥远的恒星天穹上不动的天体呢！所以这些看上去似乎永远不动的光点，除了用作日月行星运行位置的参照之外，很多天文学家对它们没有太大兴趣。

但是，仍有一批天文学家几乎是在白手起家的状况下着手开辟恒星世界这片"远在天外"的荒野。除了最基本的划分星座、制定星表之外，他们做了更深一步的研究：有的设法测量恒星的视差，有的设法计数恒星的数量和分布进而推测银河的结构，还有人试图测量恒星的亮度和亮度变化，观测双星……就是从这些工作开始，诞生了"恒星天文学"。

"星球大战"——星座命名的战国时代

公元1世纪，托勒密综合了当时的星座划分，确定了48个星座，后人称之为"托勒密星座"。这是很松散的划分，虽然基本包括了北方天空和赤道南北附近的较亮星群，但星座间有许多"空白"尚无归属，南天有大片的领域则干脆没人看到过，根本不知有什么星。到了文艺复兴时代，人们对星座仔细划分的要求突然高涨起来，因为天文学家对星体的研究加深、加细，需要在原有星座的基础上进行补充、完善，海上的探险家航行到南半球时，看到了许多过去没见过的星星，也需要对它们进行划分归属，于是一些新的星座被划分出来了。

现代星座的形成颇似现代国家的形成，有"殖民"、侵略、独立、占领三不管地段、粗略划界、谈判调整最后定型等过程，简直就是一场"星球大战"。

1595—1597年，荷兰探险家皮特·凯瑟(P. Keyser)与弗雷德里克·豪特曼(F. Houtman)前往东印度探险，经过好望角一带海域时，看到南天闪耀着许多无

名星星，历史给了他们绝好的机会，他们二人把这些星星标在星图上，然后挥动大笔，兴之所至，一口气创造了12个南天星座(后世称“航海12星座”，图2-90)。由于古代托勒密星座多是用动物命名，在这个规则下他们也多用动物命名了这些星座，不过是以当时航海发现的奇特动物命名的，如极乐鸟、变色龙、剑鱼、飞鱼、孔雀、巨嘴鸟、火烈鸟、凤凰、水蛇等。

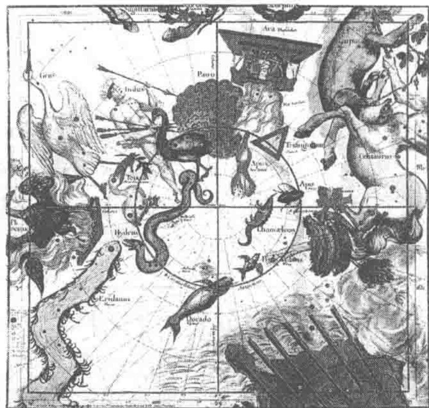


图 2-90　航海 12 星座

当时的星座之间并无界限，只是把亮星连起来而已，对亮星座之间的大片暗星区、古希腊人称之为“未定型的”或“分散的”星星，不太留意。北天有一些这样的天区，尚未归入任何星座。人们忽然认识到，既然当时殖民者占领瓜分新大陆成为时尚，那么作为天文学者，也不妨占领瓜分未“开发”的天球部分，创造新的星座。1690年，波兰天文学家约翰尼·赫维留(图2-91)发表了《赫维留星图》，在北天亮星座之间新增加了许多星座，好多也是以动物命名的，其中用长颈鹿、壁虎、猎犬、小狮子、天猫、独角兽、狐狸表示的沿用至今，还有两个是用航海定位的六分仪、战斗的盾牌命名的。



图 2-91　约翰尼·赫维留

“航海12星座”为南天首创，但毕竟只是两个探险家根据有限的亮星命名的，还留了很多空白。法国天文学家尼古拉·路易·拉卡伊(N. Lacaille)于1750—1754年间在南非好望角系统地测量了南半天球的恒星，绘出完整的南天星图。在图里，他把南天的处女地全部填满——新增设了13个南天星座，拉卡伊一改用动物命名的传统，多用当时新发明的科学仪器和航海绘图工具来命名，这些器具有望远镜、显微镜、真空泵、化学反应炉、八分仪、时钟、圆规、曲尺、雕刀、雕刻台、画架、望远镜的十字丝等。

其实，这段时间并不是只有上述5人对星座命名，既然有这样千载难逢的好机会，天、地都在被殖民，谁不想也在无主的天穹上或浓或淡地涂抹几笔？于是很多人纷纷给星座命名，出版发行自己的星图，标出自己的天空殖民地。17—18世纪简直成了星座命名的战国时代，不断兴起星座被瓜分、改造和重新命名的混战，

当空白基本被填满时,便有人在别人设好的星座上砍下一块独立出来创设新星座。

1612 年,荷兰人普兰修斯(P. Plancius)设“约旦河座”“持棒卫士座”,在白羊座的后背上设一个小小的“蜜蜂座”(1690 年赫维留又把它改称“苍蝇座”,为与南天的苍蝇座区别,再改称“北蝇座”)。

1661 年,荷兰数学家、中学校长塞拉里乌斯(A. Cellarius)在巨蟹座旁边划出了一个“小蟹座”。1679 年,爱德蒙·哈雷在南天的船底 β 星附近设“查理橡树座”,以感谢资助他的英王查理二世。

英国格林尼治天文台第一任台长约翰·弗拉姆斯蒂德(J. Flamsteed)设立了“马那留斯山座”;德国天文学家基尔希(G. Kirch)设“富士山座”“布南顿堡王笏座”;还有人在宝瓶座附近设“水位仪座”“帕拉丁狮子座”;还有人设了“安提诺斯座”,占据了今天鹰座的南半部分,安提诺斯是古代罗马的美男子。

1690 年赫维留创设的星座,除了上面提到的外,还有后来被废除的“大麦哲伦云”“小麦哲伦云”“王笏”“小三角”“地狱犬”等。

18 世纪,法国天文学家约瑟夫·拉朗德设了 4 个星座:“梅西叶座”“热气球座”“象限仪座”“猫座”,其中“象限仪座”因“象限仪座流星雨”至今还广为人知;法国天文学家比尔·莫尼埃(B. Monnier)设“驯鹿座”“猫头鹰座”;英国天文学家马克西米利尔·赫尔(M. Hell)1781 年增设“乔治琴座”“赫歇尔望远镜座”(在双子座,以纪念发现天王星的赫歇尔,图案与传统的“望远镜座”有别,赫歇尔望远镜是反射望远镜,后者是折射望远镜)。还有人设过“底格里斯河座”“波兰公牛座”“乌龟座”等。

德国柏林天文台台长波得做了最后一次创造星座的努力:他在 1801 年绘制一幅大型星图的时候,把所有人提议过的星座几乎都标了上去,全天星座的数目已经膨胀到了 150 个。其中包括他自己创造的“勋章座”“电机座”“水线座”“印刷机座”(图 2-92)。

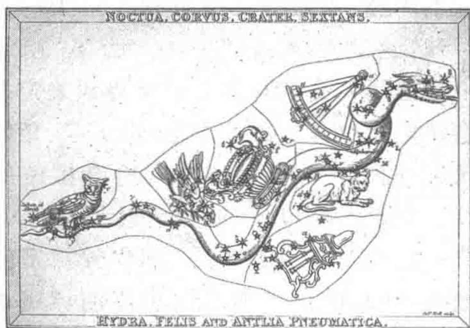


图 2-92 “星球大战”时的长蛇座附近(其中的“猫座”“猫头鹰座”后来被废除。从图中可以看出,早期的星座界线是弯曲的)

还有一些短命星座从来没被天文学家承认过。1627 年,德国一位律师标新立异,出版《基督教星图》,把已有的星座全部改换成与基督教有关的名称,如将天鹅座改为“圣女和十字架座”,黄道十二宫改成 12 位圣徒的名字,等等。英国有一个博物学者在 1754 年也对星座做过重新命名,他命名的星座名字来源都是一些让人厌恶的动物,如蚂蟥、蟾蜍和蛞蝓之类,根本没人承认。19 世纪还

有人想用拿破仑的名字来命名威武的猎户座，天文学家也不为之所动。为了对行政无上权力进行限制，天文学界对用政治家的名字命名天体极为慎重，比如国际天文学联合会小天体命名委员会规定，政治家、军事家死后 100 年名字才能用于给小行星命名。当然，真过了 100 年，新时代的人们对他们恐怕已没什么感情，也没兴趣用他们的名字命名了。

随着天文学的飞速发展，星座的划分到了非解决不可、必须统一规范共同遵守的时候了。1922 年，国际天文学联合会设立“星座界线确定委员会”，经过多次讨论，决定将天空划分为 88 个星座，除保留托勒密 48 星座外，南天和北天空白天区的星座基本是采用了最早的命名，其名称基本依照历史上的名称不变。这也是表示对先驱凯瑟、豪特曼、巴耶、赫维留、拉卡伊的敬意，后来那些杂牌星座都被正式剔除了。这次国际天文学会议上，天文学家也将太大的南船座拆成船底、船尾、船帆三座。

这 88 个星座中，北半球有 29 个，南半球 47 个，天赤道与黄道附近 12 个。它们有一半是用动物命名的，1/4 是神话人物，1/4 是仪器用具等。

每个星座的范围也是那次会议确定的，为把黯淡的恒星也固定归入某个星座，人们早就设法为星座划分“座界”，最早的界是弯曲的，因不易掌握，1841 年，约翰·赫歇尔提出以经纬线为走向划分星座界限，被人们普遍采用。但由于岁差，赤道经纬线每年都在改变方向，还是无法固定。1879 年，美国天文学家本杰明·古尔德(B. Gould)绘制南天星图时，以 1875 年的赤经、赤纬为标准分划了南天的星座界线，这就把界线固定了。为了“南北统一”，国际天文学联合会星座界线确定委员会决定采用古尔德的方案，以 1875 年的赤道经纬网为标准划分全天所有星座的界线。由于岁差，现在的赤道经纬网与 1875 年的已有了一点偏差，读现代较精密的星图时，细心的读者能看出星座的界线走向与经纬线的这点偏差——这不是绘制粗心或套印不准，恰恰相反，是绘制细心和套印精确的结果。(图 2-93)

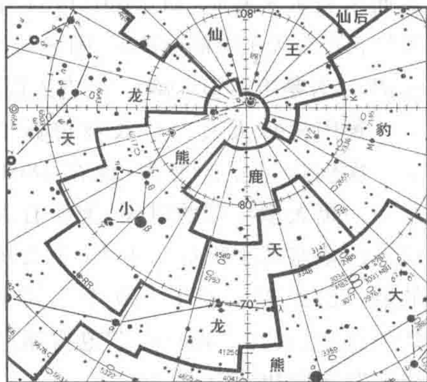


图 2-93　北极附近的星座界（它是全天最复杂、最不规则的星座界区域，其“经纬”线与现代经纬线有微小的错位）

星星的系统命名也早已解决。1603 年巴耶(J. Bayer)发表的星图，每个星座里都按照明暗次序，用希腊字母 α、β、γ 等顺序把主要恒星编号，为后人所遵守。1712 年弗拉姆斯蒂德提出，当 24 个希腊字母用完后，再暗的星就用数字表示，次序不按亮度，而是从星座西边界向东排，这样所有的星星都可以有编号了。

为星星建“户口”——星表的制定

17 世纪初，开普勒出版了空前精确的《鲁道夫星表》，共收入 1 005 颗星，全是他的老师第谷多年在观天堡用前望远镜时代最精良的仪器目测所得。以后很多年，它一直是天文学家、航海家的标准星表。

17 世纪的英国正在向海上强国发展，当时船舶在海上航行时唯一的定位方法就是天文定位，确定航向也只能是天文导航，这就需要更精密的恒星星表，望远镜出现以后，这种要求就更为迫切。因此，英国天文学家约翰·弗拉姆斯蒂德向英王建议，在伦敦东郊的格林尼治公园内修建一座皇家天文台，进行恒星位置的精确测量，以便为航海提供精密的星表。1675 年，格林尼治天文台落成，弗拉姆斯蒂德就任第一任台长。过去的望远镜，无论是折射式还是反射式，主要目的都是为了发现新天体，或看到天体上更多的细节，是弗拉姆斯蒂德都首次把望远镜用于测量天体的经纬度，那时的望远镜操作起来都很笨重，何况还要和测量仪器配合使用，难度可想而知，在这种艰难的情况下，他独自一人辛勤观测了近 30 年，终于在 1712 年编成一份含有约 3 000 颗恒星的大星表，名为《英国天文志》，精度远高于《鲁道夫星表》，显示了望远镜在天体测量方面的巨大潜力。他 30 年努力的成就，确立了格林尼治天文台在方位天文学上的权威地位，为后来“本初子午线”的选择打下了基础。

在此之前，波兰天文学家赫维留就曾计划编制一本比第谷的星表更完善的星表，他的工作于 1657 年就开始了，不幸的是，他的天文台在 1679 年遭火灾焚毁，计划没有完成，1690 年他去世后，他的继任者把他做过的观测编成了一本含 1 500 颗恒星位置的星表，以《天文图志》为名出版，其中附有 54 幅精美的星座图，已成为星座形象的经典。

这期间南天的星空也有人测定，1676 年，刚出道的哈雷才 20 岁，他在卡西尼的鼓励下，航行到南大西洋的圣赫勒拿岛，在那里建立了一座临时天文台，用了一年时间测量恒星。1678 年回国后，他马上就出版了一本包含 381 颗恒星位置的南天星表，这是南天的第一份星表，因此他被人称作是“南天的第谷”。遗憾的是，在“航海 12 星座”之外，他没有想到增加新星座。增加新星座是法国天文学家拉卡伊在八十多年之后才做的。

当然，拉卡伊的观测工作是相当完备的，拉卡伊于 1751—1753 年在好望角测量了南天一万多颗恒星，他的星表在他逝世后的 1763 年才刊印出来，表中很多星暗至 7 等，这是第一个含有许多肉眼不可见恒星的星表。

拉卡伊在好望角还有一个重要的观测任务，就是测量精确的月亮视差，这需

要北半球有人配合，配合者是柏林天文台的拉朗德，拉朗德在这期间也测遍了北天恒星，最后出版了一部巨著，仿照弗拉姆斯蒂德的《英国天文志》取名为《法国天文志》。它是含有5万颗恒星位置的星表，其中绝大多数恒星肉眼看不见。

19世纪，随着望远镜威力的提高，包含更多恒星的星表不断问世，发现恒星视差的德国天文学家白赛尔（F. Bessel，公元1784—1864）辛勤观测了12年（1821－1833），编制了一本载有六万三千多颗恒星的星表。这个星表后来又被白赛尔的助手和继承人阿格朗德尔扩充了很多。

1837年阿格兰德（F. W. A. Argelander）就任德国波恩天文台台长，他决心编制一部最完善的星表，在随后的25年里，他以德国人特有的坚毅夜以继日地工作，用一架10 cm口径的折射望远镜，总共测定了32.4万颗恒星的位置和星等。1863年，他的《波恩巡天星表》（简称《BD星表》）出版。这部星表非常精密和完备，天文学家使用了1个世纪。

为补上《波恩巡天星表》没有南天恒星的缺憾，阿格兰德的继承人于1875年至1884年在南半球继续观测，测量了13.3万颗恒星的位置，估算了它们的星等，完成《南半球巡天星表》（简称《SD星表》）并于1886年出版。

《BD星表》和《SD星表》是照相测量之前最宏伟的星表编制工作。至于有了照相测量以后的星表，我们放在下编第二章去介绍。

从恒定到移动——恒星的各种“动态”

1. 恒星不“恒”——恒星自行的发现

1717年，哈雷用最新的精密望远镜测定恒星的位置时，发现天狼、大角、毕宿五三颗恒星的位置与古希腊伊巴谷、托勒密星表中的位置差了很多。是过去的测量有误吗？这些偏差值最多达到30′——相当于月亮的角直径，即使是古希腊人，观测也不可能有这么大的误差，而且哈雷发现，天狼星的位置比一百多年前第谷测得的也有所偏移。所以他认为这是恒星在天空中以非常缓慢的速度运动的结果。后来，人们将这种现象称作恒星的“自行”（图2-94），以区别于后来发现的恒星其他视位移。现代测得天狼星的年自行为1″.34，虽然极小，但多年的累加就非常可观了，所以被近代天文学家较早发现。

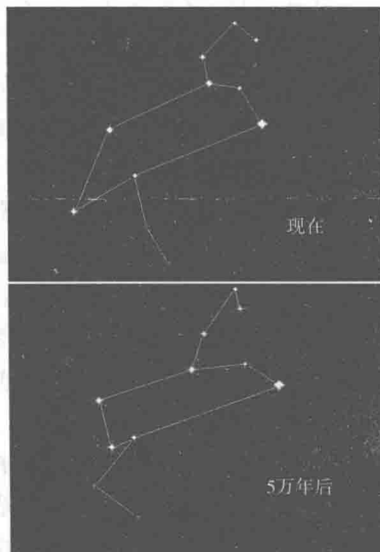
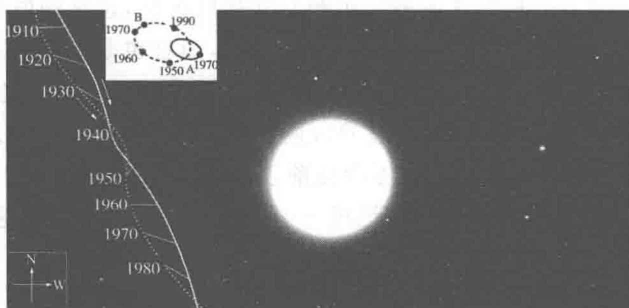


图2-94　狮子座主要星现在和5万年后的样子

虽然在这之前，多数天文学家都倾向于相信恒星是有远近之分的，没有固定的“恒星天球”，但毕竟只是猜测。现在，恒星自行的发现是最好的证据，过去那种“恒星只是固定在遥远天穹上的恒定光点”的观念终于被彻底否定了，“恒”星不恒了，它们也是一种运动的天体。

后来通过上百年的连续观测又发现，天狼星在天空的自行运动不是直线，而是微微带些波浪形(图 2-95)。1834 年，德国天文学家白塞尔认为，天狼星还有一颗伴星存在，它们绕着共同的质心公转，才使得天狼星“边走路边跳舞”。这个预言还是在海王星被发现之前做出的，所以白塞尔才是第一个预言未知天体的人，但天狼伴星是美国的望远镜专家克拉克于 1862 年发现的，发现得较晚。天狼伴星是一颗白矮星，亮度只有 8.6 等，直径比地球大不了多少，质量与太阳相等，与天狼星以 50 年的周期互相绕转，表面温度与天狼星一样，也发青白光，密度是黄金密度的一千多倍。



左图是天狼星及其伴星的自行路线图，实线为天狼星轨迹，虚线为天狼伴星轨迹。

图 2-95　天狼星及其伴星

有一个流传甚广的说法，说非洲西部的“多根人”部落几百年前就知道天狼星有一颗伴星，称为“最重的星”，它以 50 年一周的椭圆轨道绕天狼星转，多根人据此安排祭奠仪式的时间间隔。据说这是 20 世纪 50 年代两个法国学者在多根人部落生活了十几年才从他们那里获得的核心机密。多根人用肉眼怎么会看到天狼伴星呢？又有人推测多根人可能是天狼星人的后裔。可是他们对天狼星和对其他天文知识的了解为什么并不比我们更多呢(如他们认为木星有 4 颗卫星，而 20 世纪 50 年代已知木星有 12 颗卫星了)？一种比较合理的解释是：他们是通过欧洲传教士或其他途径早些时候就知道了天狼星有关知识的，只是故弄玄虚而已。

2. 歪打正着——光行差的发现

当时，一提起恒星，就有一个天文学家代代关心的问题——测定恒星的视差。如果地球在环绕太阳运动，那么我们从地球上看去，较近的恒星就会在遥远恒星背景上向反方向移动，在天上画出一个扁率不一的椭圆，天文学家把这个椭圆的

半长轴的角距称为视差——严格说应称为"周年视差"(图 2-96)。

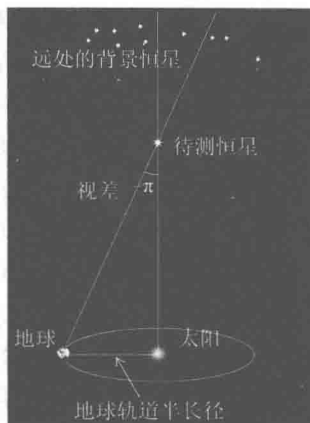


图 2-96　视差原理和视差效应

从古希腊人一直到第谷,都试图测出恒星的视差,但一无所获。这样,只有两种可能:第一,地球不动;第二,地球运动但恒星极其遥远。亚里士多德、托勒密、第谷和卡西尼选择了前者,哥白尼、开普勒、伽利略和牛顿选择了后者。17 世纪及以后的天文学家除卡西尼等个别人外都相信日心地动说,但只有测出恒星的视差,日心说才能建立在真正科学可靠的基础上。所以,测出恒星视差是天文学家们的共同理想,也是一些执着的天文学家的奋斗目标。

1725 年,英国的布拉德雷开始了长期的连续观测,试图测出恒星的周年视差。他用口径 9.4 cm、长 7.3 m 的望远镜直立指向天顶,选择的恒星是天龙座 γ。开始观测后不久,他就察觉到了这颗恒星的位移,而且也是以年为周期在天球上来回画圈,摆动可达 20″。他极为兴奋,以为自己测到了恒星的视差。不过进一步分析后他发现,恒星的位移不是视差的方向,视差造成的位移应该总是指向太阳的方向,而这种位移指向却比太阳方向提前了 90°,与地球运行的指向相同。尤令人奇怪的是,进一步观测发现,其他恒星——无论亮暗——也都有这种位移,数值一律相同,显然它不可能是视差。

布拉德雷对此问题思考了几乎两年,一天,他在河边散步,看到一条插着旗子的船在河面驶过,他发现,旗子既不是向船的后方飘扬,也不是向风吹的方向飘扬,而是飘向风吹与船行的合力方向。他忽然悟到了这些年困扰他的星体位移的答案:光速是有限的,地球公转前进方向与光线运动方向的合成,就会造成恒星光线向后偏,而我们看到的光线源头——恒星就向前偏了。比如,我们雨天坐在行驶的汽车里,会看到雨点在车窗外画出向后倾斜的雨迹,这个倾斜角就是汽车水平前进速度与雨点垂直下落的合成造成的。我们飞奔的地球也无时无刻淋着"星光雨",用望远镜观测星星时,为让"星光雨"顺利射入镜筒,必须把望远镜沿地球公转的方向前倾,布拉德雷测到的正是这个前倾的角度。

恒星的这种视移动被称作"周年光行差"(图 2-97),它是个固定的数值,约 20″.5,称为"光行差常数"。布拉德雷还用这个值求出了很精确的光速数值。尤其意味深长的是:关于恒星的视差,人们早就推测到并想尽办法去测量,但一直测不出;而光行差,却无一人预言过它的存在,测到了它之后又过了好久才悟出其中的道理,可见科学的发现与创新常常是不可预料的。



图 2-97　光行差产生的原理

3. 终于测出恒星的视差

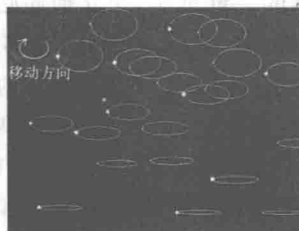
光行差的存在又一次证明地球在运动，也说明了恒星的视差一定存在，只是恒星离我们太远了，以至于最近恒星的视差也要比"光行差常数"小很多。于是，科学家花费了一百多年的时间改进仪器。1838 年，德国天文学家白塞尔手中有了更精密的仪器，又一次冲击这个难题。

视差与光行差不同，所有恒星的光行差都是相同的，当年布拉德雷无论选哪颗星，只要仪器精度足够，都可把光行差测出；而恒星的视差是近大远小，如果选了实际很远的恒星来测，即使仪器再精确，也会徒劳无功。当时已能测得很多恒星的自行了，人们相信，恒星的自行越大，说明它离我们就越近，那时发现的自行最大的恒星是天鹅座 61，它虽然不亮，但年自行达到 5″.2，被人称作"飞星"，可能离我们很近，于是白塞尔决定选它来观测。经过一年的辛苦努力，白塞尔终于测得天鹅座 61 在自行、光行差运动之外，还有一种在背景星前画圈的运动，其移动幅度只有 0″.33，移动方向完全符合视差原理(图 2-98)。白塞尔公布了他的发现。



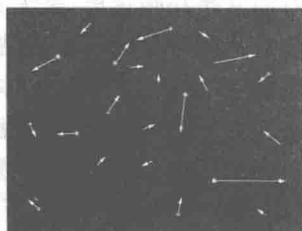
视差

恒星在天上画着小圆圈，位移总是指向太阳的方向。恒星越远，圆圈越小，而且恒星越靠近黄道圆圈越扁，到黄道退化成线段。



光行差

恒星在天上画着较大的圆圈，位移指向总是比太阳方向提前了90°，与地球运行的指向相同，所有恒星所画的圆圈都一样大，也是越靠近黄道圆圈越扁，到黄道退化成线段。


自行

一般呈直线移动，近大远小，因是直线移动，多年的累积量十分明显。

图 2-98　恒星的视差、光行差、自行示意图

困扰天文学家千年的恒星视差终于被测出了。可是 0″.33 这个幅度太小了，仅相当于 16 km 外看一枚硬币的直径，这也正说明了恒星的遥远。测恒星视差并不是为了确认地球的公转，它的巨大意义是：用三角法我们马上就知道了该恒星到太阳的精确距离。白塞尔利用他的测量结果可靠地算出天鹅座 61 到我们的距离：66 万天文单位(合 11 光年)。第谷当年不敢想象的巨大宇宙终于成为事实。

随着许多恒星视差的测得，我们获得了一大批恒星的距离数值。这是用过去的方法做不到的。过去，天文学家也曾想尽办法测定恒星的距离，但都很不可靠。比如，惠更斯是这样得出天狼星到地球的距离的：他先假设，天狼星与太阳有同样的光度(自身的发光程度)，然后他把一间屋完全遮黑，只对着太阳留一个极小的针孔，找好距离，选取孔的大小使之看起来与天狼星一样亮，然后测量孔的大小，看占太阳视面积的多少分之一，这样就求出了小孔(天狼星)比太阳暗了多少倍，利用亮度与距离的平方反比关系就可求出天狼星的距离。结果他估计的天狼星距离约为 2.8 万天文单位(实际值为 48 万)。惠更斯的方法很有趣，也完全符合科学的逻辑，但实际操作时误差难以控制，事先的假设(“天狼星与太阳有同样的光度”)也需实践检验，所以估计的距离值就很不准了。

几乎就在白塞尔测出天鹅座 61 视差的同时，英国的亨得森(T. Henderson)、俄国的威廉·斯特鲁维也分别独立测得另两颗恒星南门二、织女星的视差。恒星视差的发现在科学界引起巨大轰动，当时很多天文学家都为自己在有生之年看到恒星视差的测出而欣慰。的确，如果最近恒星的距离再远几十倍，视差的测出不知又得推迟多少年。

4. 赫歇尔“数星星”数出银河系结构

科学研究的开始常常只是一些推测，但仅靠推测是不够的，必须进而做量化研究，这就需要掌握尽可能多的第一手资料，从中分析、研究，找出规律，科学家面对的常是扑朔迷离、毫无头绪的一堆事实，为此他还必须规定一些前提，在假设的前提下进行分析——其结论虽不一定可靠，但毕竟离真理近了一步，我们从赫歇尔的“数星星”工作可以体会到科学的这种灵魂的东西。

自从伽利略用望远镜看到银河原来是由密密麻麻的恒星组成的之后，有人就一直猜想天空这么多恒星组成的大结构该是什么。18 世纪初，瑞典的斯维登堡(E. Swedenborg)推测，所有我们看到的恒星(包括太阳)都是银河的成员，它们构成一个完整的体系，这种体系可能不是唯一的；1750 年，英国天文学家赖特(T. Wright)提出，这个“银河体系”的形状像个车轮箍，站在里边看就成了一圈银河，可能因为太阳不在中心，因此银河看上去有宽有窄；还有的说“银河体系”像一块铁饼；德国哲学家康德更大胆地提出，天上的“云雾状天体”(包括今天的星云、球状星团、星系)全是像银河一样的恒星集团，并称其为“岛宇宙”。

"银河体系"明显是有结构的，因为人们发现，用小望远镜分别看银河方向和与银河垂直的天区，前者的恒星会比后者多三四倍，换用大口径望远镜，则更会多至 10 倍。但是上述设想毕竟都是定性的猜测，要想建立科学合理的银河系模型，就必须从定量上深入探讨。威廉·赫歇尔就是这样做的，他为了弄清恒星的分布和数量，开始了艰苦的"数星星"计划。

为了定量分析，他做了如下的假设：首先，他假设恒星的光度基本是相等的，所以星星越亮，说明它离我们越近，越暗越远；其次，他还假设他磨制的望远镜已经看到了银河系最远、最暗的恒星。在这两个假设的前提下，他开始计数恒星。

这是一场愚公移山式的劳作，若想把望远镜中看到的全天恒星一一数下来，是不可能的，因为那很可能要数一生。他采用的是抽样法，选出三千多个有代表性的天区，用操作笨重的自制大望远镜，和儿子约翰·赫歇尔分工，共数了八十多万颗星(图 2-99)。根据这些天区恒星的分布，最后他估计出银河系共有约 1 亿颗恒星，其规模大致是凸透镜状，直径是天狼星到太阳距离的 850 倍，厚度是 150 倍。这个银河系大小的值只有今天测得银河系实际大小的十分之一，星数更仅是实际的千分之一，但这毕竟是人类对银河系结构、尺度的第一次定量研究。

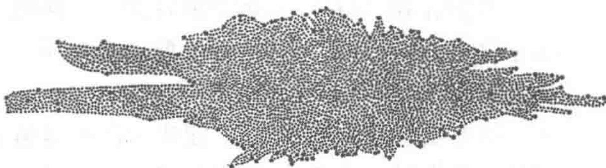


图 2-99　赫歇耳"数"出来的银河系模型

后来赫歇尔造出了更大的望远镜，发现了许多更暗的星，才意识到自己的假设是不完整的，明白银河系的构造、恒星的亮暗关系比他开始想象的要复杂得多。

既然太阳是一颗恒星，它也应在空中运动。当年哈雷、布拉德雷都曾指出：恒星的自行可能不是单纯恒星自己的运动，而是太阳、恒星运动的综合效应。后来赫歇尔通过分析统计恒星的自行方向发现了太阳在银河系中的运动。1783 年他选用 7 颗 1 等星，分析它们的自行方向，推断出太阳是在朝武仙座的方向运动(图 2-100)。虽然只选用 7 颗星，这回他却推断得非常准，与现在测得的实际方



图 2-100　太阳带领它的家族以每秒 19.7 千米的速度朝武仙座方向运行

向相差不到10°。从此，太阳在人们心目中也不再“静止”了。

从赫歇尔开始，天文学家的兴趣转向了恒星。

从背景到主角——恒星天文学的诞生

从赫歇尔开始，天文学家把主要目光投向朝我们神秘地眨着眼睛的遥远的恒星。恒星一步步从日月行星舞台的背景幕布上走下，变成揭示天空奥秘的主角。

毕竟，恒星太遥远、光线太微弱了，携带的信息少得可怜，天文学家只得从研究比较特别的恒星做起。最先让人感到特别的恒星当推双星和变星了。所以，在光谱分析法问世之前，天文学家主要关注的是双星和变星。

1. 共舞的恒星——双星、聚星和星团

人们在观测恒星时，很早就发现有一些恒星是双双排在一起的。既然恒星有远近之分，那么距离不同的恒星偶尔凑在同一方向，也不奇怪，所以人们对这种现象并未留意。

可是随着观测的精密化，星表中的双星越来越多。18世纪，英国的米切尔对恒星的分布做了概率分析，最后得出结论：仅靠偶然的巧合，天上是不会有这么多双星的，至少它们的一大部分应该是真正成双成对的。

威廉·赫歇尔首先对双星进行了系统观测，1782年他发布了列有260对星的双星表。开始他也以为双星是两颗远近极不同的星，希望想通过动态的观测发现近星的视差，不料视差没发现，却测出了一些双星的互相绕转运动，从而证明了这种双星的两颗子星是有物理联系的(后来称“物理双星”)。这是人类第一次在太阳系以外发现天体的绕转运动，证明了牛顿的万有引力定律确实“万有”。在赫歇尔之后，他的儿子约翰·赫歇尔继续做双星观测，共记录了三千多对双星。

肉眼可见的最典型的物理双星当数北斗七星的第6颗星大熊座ζ(中名“开阳”)和大熊座80(中名“辅”)星，它们也是西方最早有记载的双星，1650年意大利的里奇奥利曾提到这个特点。80号星中名“辅”也证明中国人很早就意识到此两星有联系。两星相距11′，用望远镜及分光手段，还会发现它们共有6颗星(现在称“聚星”)。有了物理双星(图2-101)的概念，偶然排在一起

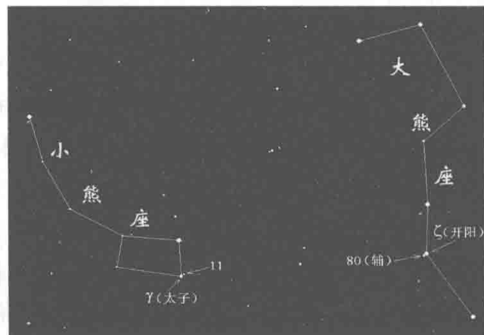


图2-101 肉眼可见的最典型的物理双星——“开阳”和“辅”星及最典型的光学双星——“太子”和小熊座11

的双星就称“光学双星”了，如小熊座 γ(中名“太子”)与旁边的小熊座 11，虽挨得很近，但距离相差 100 光年，是肉眼可见的光学双星。

发现了恒星的绕转运动，不仅证明了万有引力定律的普适性，而且如果能精确测定绕转周期的话，还可根据万有引力定律和开普勒定律推算出恒星的质量。从 1824 年开始，俄国天文学家威廉·斯特鲁维买到夫琅和费制造的、操作最灵便的 25 cm 赤道仪望远镜，对许多双星做了精密的测量，为恒星质量研究提供了大量材料。

天文学家也发现，天空不但有许多双星，还有 3 颗、4 颗、几十颗、成百上千甚至上万颗恒星聚在一起的现象。一般 3 颗至 10 颗在一起的叫聚星，它们大都是双星两两绕转，两对双星再远距离互相绕转……以此保持轨道稳定；几十上百甚至成千上万颗恒星聚集在一起的叫“星团”，其中松散联邦一样聚在一起的叫“疏散星团”(图 2-102)，密密麻麻聚在一起，望远镜也分不清个数的叫“球状星团”(图 2-103)——由于引力的互相作用，这么多成员星的轨道显然是难以保持稳定的。现代天文学家把银河系所有恒星大致统计一遍，发现竟有一半的恒星属于双星、聚星或星团的成员。由此看来，它们已经不算是什么“特别的”恒星了。



图 2-102　典型的疏散星团——昴星团



图 2-103　典型的球状星团——半人马星团

2. 恒星亮度的定量化

恒星的亮度可以说是天文学家研究恒星时第一关注的指标。早在古希腊时代，伊巴谷就创立了 6 等分类法，他把肉眼看到的最亮星定为 1 等，最暗星定为 6 等，中间的凭感觉依次为 2 等、3 等、4 等、5 等，一直沿用下来。伊巴谷选择最亮星、最暗星间相差 5 个等级，是极为明智的，因为若分为 10 个或更多等级，人眼很难区分这么细小的差别，若只分两三个等级，又未免过于粗疏，所以这种分类法非常适用。唯一不足的是，再亮的星只好用 0、负数表示，令初学者不习惯。

星等一直是靠肉眼凭感觉估测。有了望远镜后，人们在望远镜中看到的绝大多数都是密密麻麻被增亮了的暗星，这些星的星等怎么测？人们只好再凭感觉把

越来越暗的星分成 7 等、8 等、9 等……这么类推是对的，但估测起来却全无章法，因人而异，再加上望远镜口径不一，难以比较，结果一人记录的 8 等星，另一人可能就记为 7 等、9 等。有没有统一、客观的标准呢？那时人们并不知道星等值是否有计量学的含义，比如，1 等星的“光亮程度”就是 2 等星的 2 倍吗？或是 5 等星的 5 倍吗？谁也说不清。

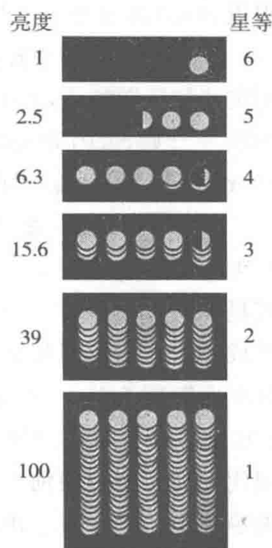


图 2-104　星等与亮度（十进位）的对照

直到 19 世纪中叶，随着生理、心理学的发展，人们才认识到人的主观感觉强度与客观刺激的大小不是成正比的。德国生理学家费希内尔（G. Fechner）提出：人对亮度、声音、重量等的感觉与计量器具不同，其感觉强度与刺激强度的对数成正比。比如，当星等按算术级数 4、3、2、1“增加”时，星体的亮度当按几何级数增加。随后光度学的发展，又进一步从定量上解决了这个问题：天文学家发现，星等每差 1 等，亮度就差约 2.512 倍，如果差 5 等（如 1 等星与 6 等星），恰好差 $2.512^5=100$ 倍。从此，星等间有了严格科学的递进和外推标准，星等由主观感觉变得有物理和数学意义了（图 2-104）。

这样，亮于 1 等的天体，可以用 0 等、负星等表示其亮度。比如，约翰·赫歇尔曾设法测得满月比半人马 α 星亮 27 408 倍，这样就可以马上求出满月的星等：−11 等（今测为 −12.6 等）。同样外推可得太阳的星等为 −26 等左右（图 2-105）。伊巴谷如果在地下得知，如今人们还在用他的 6 等分类法，而且在其中发现了这么美妙的和谐关系，不知该是多么自豪。

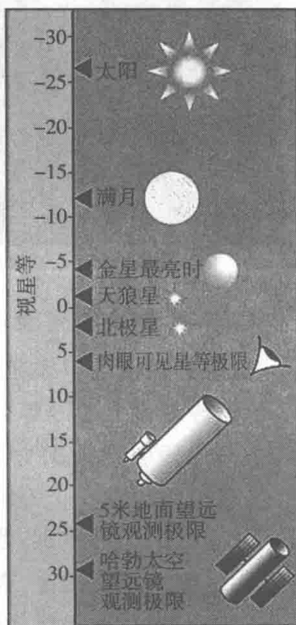


图 2-105　天体亮度和望远镜观测极限星等

3. **变星的观测和研究**

可能很早就有人注意到，有些恒星的亮度是会变的。比如最著名的变星英仙座 β（中名“大陵五”），在古希腊神话中，它代表英仙帕尔修斯手里提的妖头——蛇发女妖美杜莎的眼睛，据说美杜莎看到什么，什么就会变成石头，可见在希腊人眼里，英仙座 β 是一颗怪异的星；至于阿拉伯人，更直接称之为“鬼星”或“眨眼的魔鬼”；中国名“大陵”似乎表明，我们的祖先也注意到了它的诡异表现。

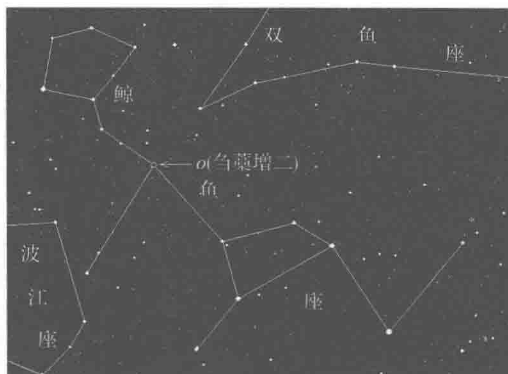


图 2-106　时而明亮、时而消失不见的鲸鱼怪星

除爆发式地突然增亮然后又消失不见的新星、超新星外，周期性的变星是近 400 年才开始有明确记录的。第一颗记录的变星是鲸鱼座 *o*（中名“刍藁增二”）。1596 年，荷兰的法布里修斯（F. Fabricius）发现鲸鱼座 *o* 有非常剧烈的光变，称它为“鲸鱼怪星”（图 2-106）它最亮时可达 2 等，最暗时肉眼看不见。长期观测得知它 11 个月左右变亮一次，周期不很固定。

第二颗记录的就是英仙座 β，1667 年人们就发现它的亮度有变，光变周期是两天零 20 小时，亮度在 2.1 等至 3.4 等之间变化。1782 年，英国聋哑青年约翰·库德里克（J. Goodricke）用双星交食来解释它亮度的变化，但遭到威廉·赫歇尔的反对，赫歇尔说：根据他掌握的最精密的观测数据，英仙座 β 明显是单颗星。

后来发现的变星越来越多。当然，观测变星比观测双星要难得多，因为这需要对每颗星做长期的观测，还要用对比法估侧它们的亮度变化。所以，德国波恩天文台的阿格朗德尔提倡发动爱好者来做这项工作，他还创造了灵巧实用的将变星的亮度与背景星亮度比较的“等级”法，使变星的证认、研究迅速发展。

对变星亮度变化的原因，科学家也做过许多推测，鲸鱼座 *o* 的光变，就曾被认为是巨大黑子的旋过造成（现证明是巨星的脉动，称“刍藁型”变星）；英仙座 β 光变的双星交食解释，被威廉·赫歇尔否定，但 1888 年人们用分光方法证实，英仙座 β 确实是双星，由于这对双星非常靠近，以至于最大的望远镜也不能将它们分辨成两颗。因为它们互绕的轨道平面正巧朝向我们，两颗星不断有一颗在另一颗前面走过，形成交食，使我们察觉到它们周期性的光变（图 2-107）。

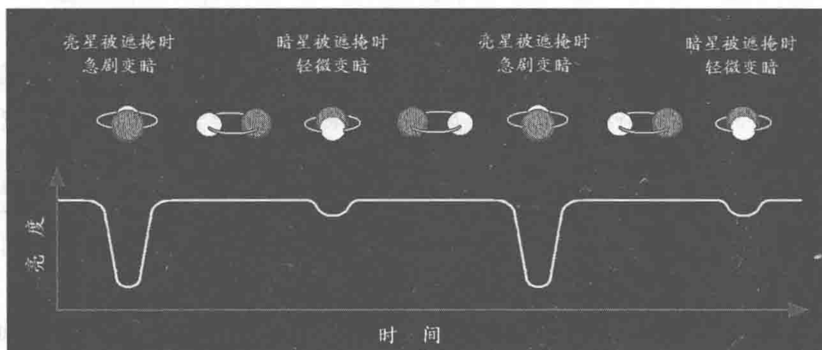


图 2-107　交食双星光变原理示意图（交食双星平时发光平稳，有星食时亮度突然变化）

还有一颗著名的变星仙王座δ(中名"造父一"),是1784年库德里克发现的,它的光变周期是5天8小时,亮度最大时3.6等,白色;最小时4.3等,黄色。对它光变原因的解释很久没有定论,开始人们倾向它也是交食双星,但看它的光变曲线又不像。1914年,美国杰出的天文学家沙普利提出,仙王座δ的光变是星体本身的周期性的膨胀、收缩脉动造成。随后爱丁顿提出的脉动变星理论完美地解释了观测到的各种现象。值得留意的是,仙王座δ并不是膨胀到最大时最亮,收缩到最小时最暗,实际上它最亮、最暗时的半径居然是相等的,即膨胀通过平衡半径时最亮,收缩通过平衡半径时最暗。仙王座δ的直径比太阳大30倍,每个胀缩周期直径变化超过4个太阳直径。

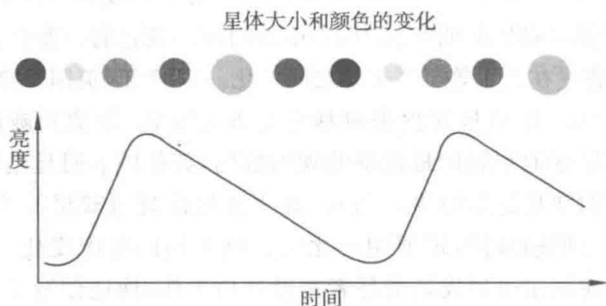


图2-108 造父变星的光变原理示意图(造父变星光变平滑,很快上到峰值,然后缓慢下降)

后来天文学家发现,变星比过去想象的要多得多,天上的恒星有三分之一属于变星。

4. 宝贵的"量天尺"——造父变星

远在明白它们的光变原因之前,人们就观测到了不少与仙王座δ相仿的变星,它们被统称为"造父变星"(图2-108)。"造父变星"的光变周期差别很大,短到1天,长的可达一百多天,它们都是黄色的巨星、超巨星,所以可在很远处、球状星团甚至河外星系中观测到。

1912年,哈佛大学的女学者勒维特(H. Leavitt)公布了关于造父变星的一项重大发现。她在整理小麦哲伦星云(离银河系很近的一个小星系)的照片资料时,从中找到了21颗造父变星,她发现一个有趣的现象:这些造父变星光变周期越长,亮度也就越大,二者呈明显的正比关系,无一例外。她想,小麦哲伦星云里的星体到我们的距离可以认为都是一样的,这种现象说明造父变星光变周期越长,光度也就越大。

这样,造父变星可就有用了。你想:它的光变周期是很容易测出的,知道了光变周期,我们就立刻知道了它的光度,知道了它的光度,再根据我们实际看到的亮

度，就可推算出它离我们的距离。

这有什么了不起吗？有！在前面“天文单位”一节，我们已经再三强调，星体的距离在天文学中是最重要的数据，知道了星体的距离，我们才能对它做其他精确的研究。而星体的距离又是天文学中最难确定的数据之一，我们不可能直接去丈量它们，只能用间接手段去测算，所以直到现在，已知很多恒星的距离都是有相当大的误差的。造父变星是一种我们能够较精确地求出其距离的天体，这种恒星天上有很多，它们的这个用途，使它们身价百倍，仿佛在宇宙空间树立了不少“里程碑”，尤其是当它出现在星团、星系中时，意义更为重大，丹麦的赫兹普龙用造父变星曾求得大、小麦哲伦云距离我们为 10 万光年（实际分别为 16 万和 19 万光年）。这是人类第一次把测量的尺子伸向这么远，因此造父变星博得了“量天尺”的称誉（图 2-109）。

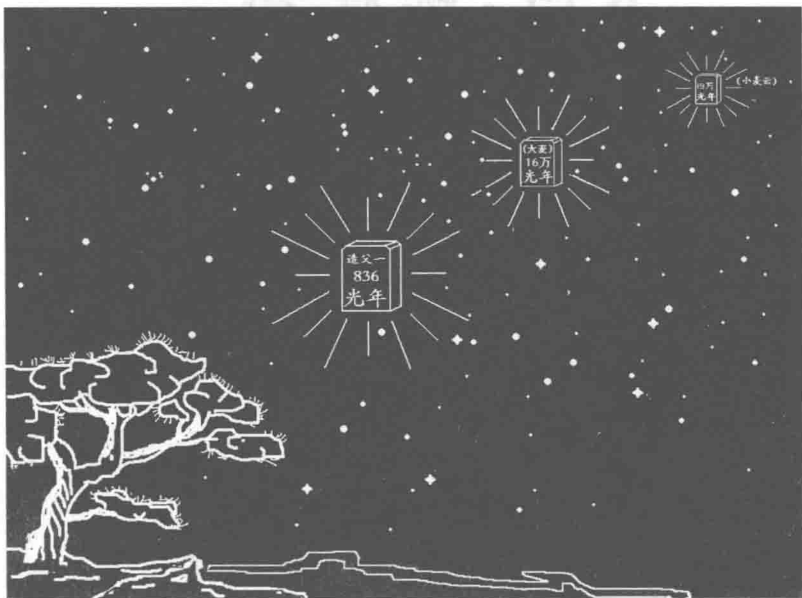


图 2-109　造父变星成了星空中的“里程碑”



下篇：现代篇

宇宙时空新视野



一、把璀璨星光分解成迷人彩虹



近现代科学的一个最大特点，就是“分析”，数学有“数学分析”，化学有“化学分析”，等等。而天文学直到19世纪中叶，研究的基本都是天体位置的测量、天体运动的力学规律等，什么时候天文学家才能进行“天体分析”呢？天体实在太遥远了，要对它们进行成分、结构的分析，真是“难于上青天”，所以很多天文学家根本不抱这种奢望。法国哲学家孔德1825年在他的《实证哲学讲义》中说了这样一段令人沮丧的话：“无论在什么时候，在什么情况下，我们都不能研究出天体的化学成分来。”①

不料，彩虹——这种古今人们雨后时常可见的、激发过无数文人墨客想象的壮观奇景，突然一改它美丽虚幻的形态，成为天文学家关注的目标。不久，它就重要得简直成了继望远镜之后天文学家的第二大“帮手”了。为什么呢？原来，“彩虹”就是一部“天书”，它携带着天体的各种信息。只要我们破译了这部“天书”，也就可以做“天体分析”了。这就是“光谱分析法”！

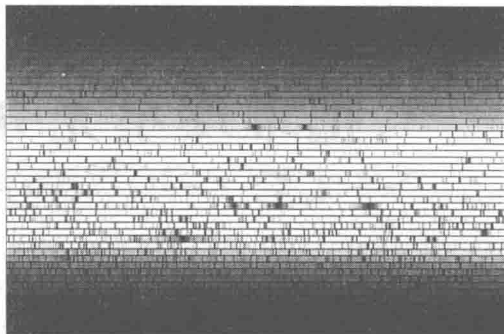
从此，天文学家再也不满足于按亮度、星座等等的恒星分类法，开始试图对恒星从本质上进行分类了，试图像化学建立元素周期律那样，找到恒星在演化、成分、结构间的内在联系。20世纪初，天文学家终于发现恒星的光谱型起着至关重要的作用，可作为新分类法的标准，最后在平面坐标中把万亿恒星排座次，建立了名为“赫-罗图”的图表。通过这个图，人们对恒星有了更深刻的认识，随之建立了完善的恒星演化理论。

光谱天书的破译——天文学家的又一法宝

人类对彩虹的科学认识是从牛顿开始的，他首次用三棱镜折射太阳光，得到人造彩虹，称之为“光谱”。从此人们知道了色光是基本的，白光可分解为七色光。但这以后的一百多年，人们很少再留意这条人造彩虹的细节。

①哲学家经常这样说话。1799年，黑格尔利用他那一整套哲学，充满自信地得出结论说，不会再有新的天体在太阳系内存在了。但一年以后，小行星谷神星被发现。

1. 光谱暗线的发现


图 3-1　太阳光谱及暗线（因太长，只好截开横排）

1802 年，英国化学家沃拉斯顿(W. Wollaston)做了这样的实验：用狭缝约束阳光，使之变窄，然后通过三棱镜，他发现这样一来光谱虽然变暗，却细腻清晰得多了，仔细观察后他发现光谱中有 7 条暗线。既然光谱有 7 色，这 7 条暗线当然就是 7 色的分界线了(图 3-1)。任何事物都有边界，色光有分界线也是正常的，所以他公布了他的发现后，没什么反响。


图 3-2　天体分光学的创始人——夫琅和费

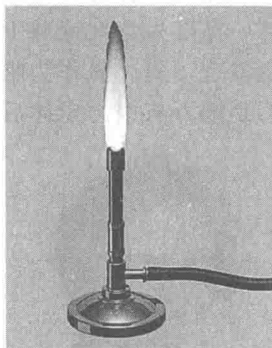
1814 年，工人出身的德国光学家夫琅和费(公元 1787－1826，图 3-2，曾制过当时最好的折射望远镜)在测试他新磨制的优良棱镜时，透过狭缝折射也注意到了太阳光谱中的暗线，而且数到了不止 7 条。它们真是色光的分界线吗？为了看得更清晰，他把棱镜安装在了望远镜上，通过放大仔细观察。他发现，长长的太阳光谱带中排列着大量的、强弱不一的暗线。夫琅和费为此感到震惊，便努力钻研，改进仪器，把他组合的仪器取名为“分光镜”，最后竟在光谱中数出了约 750 条暗线。夫琅和费公布他的发现时，还特别论证了这些暗线是阳光固有的，绝不是衍射、干涉等原因造成的。

随后他又把分光镜对准月亮、行星和恒星。开始，他以为所有星光中的暗线都是一样的——这样才能说明它们的“固有”。但测试中他发现，月亮、行星的暗线果然与太阳相同，而不同恒星光谱的暗线则位置各异，有的与太阳相似，有的则与太阳迥然不同。月亮、行星反射太阳光，暗线自然与太阳相同，那么恒星的暗线为何各自不同呢？夫琅和费对自己的发现感到很惊讶，却没有想到它的重大意义：他已经迈入一个伟大发现的门槛，他测到了星星的“染色体”。因为，如果进一步能破译星星的“DNA”，天文学家就可以做“天体分析”了。

那些暗线被后人称作“夫琅和费谱线”。在约 40 年后，这些彩虹密码终于被一步步破译，夫琅和费也被尊为天体分光学的创始人。

2. 破译星星的“DNA”

对这些彩虹密码——暗线的破译工作是从19世纪50年代德国化学家本生(R. Bunsen)、物理学家基尔霍夫(G. Kirchhoff)两人的合作开始的。1850年,本生发明了一种煤气灯,燃烧的火焰本身几乎无色(后人称之为“本生灯”,图3-3),他发现,当在灯上燃烧不同的元素时,火焰发出的光也不同。显然,反过来根据火焰发光的颜色也可以判断燃烧的是什么元素——这样,他就发明了一种新的化学分析方法:靠燃烧产生的颜色来判断燃烧的是什么元素。


图3-3 本生灯

但是,复杂的化合物以及混合物质呢?燃烧时各色混合,恐怕就说不清是什么了,本生一直为此思考。1851年,他结识了比他小13岁的基尔霍夫(图3-4),与他谈起这个困扰。基尔霍夫想到:如果燃烧时各色混合,那么用棱镜分解这些混合光,能否把代表各元素的色光分开呢?他马上动手实验,实验结果出乎意料地完满,他在本生灯上燃烧单种盐类时,光谱上只出现单一颜色的谱线(一段细细的色线),燃烧混合盐类时,通过棱镜折射则看到了五彩缤纷的多条谱线,如钠盐黄线、钾盐紫线、锂盐红线、锶盐蓝线等。他的实验证明了:每一种元素燃烧时都会发射它特有的颜色谱线,人们可以用分光的办法来判定它们。


图3-4 本生(右)和基尔霍夫

基尔霍夫想起了约40年前夫琅和费发现的阳光、星光中的暗线,它们与这些彩色线条有什么关系呢?经过多年的实验及思考,他终于明白:每一种元素在较冷状态下也会吸收它特有谱线位置的色光,于是在彩虹背景上形成暗线。原来,太阳、恒星光谱中的暗线是恒星本体发射的连续光谱被它们外围较冷的大气某些元素吸收的结果。

原来,太阳的暗线就代表了它的大气在各种状态下的元素。瞧,谁说我们测不出天体的化学成分?这不测出来了!基尔霍夫立刻辨认了太阳光谱中的许多谱线,宣布了太阳上存在的各种元素,如钠、铁、钙、镍等,全是地球上有的。

基尔霍夫从夫琅和费谱线上考察太阳上有无金元素时,他的仆人说:“就是发现了太阳上有金子,你也取不来,有什么用?”仆人眼中无英雄,基尔霍夫当然不屑向他多解释,只是被授予金质奖章时,他拿回奖章打趣仆人说:“瞧!这不是我在太阳上取来的金子吗?”

1868 年，法国天文学家让桑(P. Janssen)和英国天文学家洛克耶(J. Lockyer)在分析让桑在印度观测到的日全食资料时，各自在日珥光谱上发现有一条橙黄色的明线，与已知任何元素的谱线都不相符，洛克耶认为这是太阳上一种特有的元素，将其命名为“氦”(helium，意为“太阳元素”)。那时人们一直以为氦在地球上不存在，哪知 26 年后，英国化学家拉姆塞从地球的矿物中也发现了氦。氦作为唯一先在地球以外发现的元素，证实天上、地上元素完全对应，是继万有引力定律后又一次证明了天、地之间的统一性的重大成果。

3. 彩虹天书继续告诉我们的秘密……

光谱分析只能探测天体的化学成分吗？不，彩虹天书告诉我们的秘密还多着呢！比如通过光谱分析还可以测定恒星的视向速度(即天体沿着我们视线方向的速度)。这要从“多普勒效应”说起。



我们生活在一个波的世界中，“多普勒效应”在各领域用途极广，特别是在医学诊断、交通管制等方面的应用，使“多普勒”一词家喻户晓，妇孺皆知。很多文盲、科盲可能从来没听说过牛顿、爱因斯坦，却一定听过甚至说过“多普勒”。从古到今，有此殊荣的科学家可能没有第二个。

图 3-5　多普勒

奥地利人克里斯蒂安·多普勒(C. Doppler，图 3-5)，是一位成就并不很多的物理学家，他在 1842 年提出，当声源在运动中时，听者会感到音调有高低的变化，声源接近时，声波被“压缩”，听者感到音调变高；声源远离时声波被“拉伸”，音调变低。他认为光源的移动也会有类似的效应，比如恒星远离我们而去时，颜色会偏红，反之则偏蓝。这种现象被后人称作“多普勒效应”(图 3-6)。

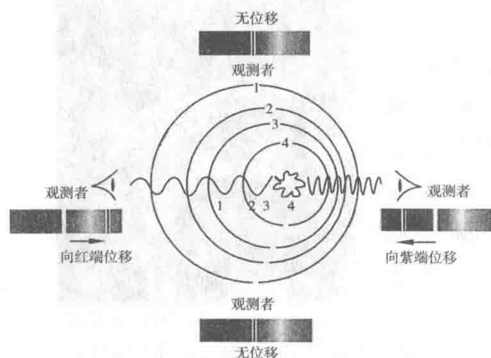


图 3-6　多普勒效应

1868 年，英国天文学家哈根斯(W. Huggins)首次用最新的分光镜尝试寻找恒星的多普勒效应，果然测得天狼星的各元素特征谱线都稍稍向红端移动了极小的一点距离，这说明天狼星在远离我们而去，测量谱线的位移立刻就可以算出天狼星离开我们的视向速度是47 km/s。由于恒星的速度与光速比简直微不足道，我们没有像多普勒预言的那样看到星光偏红，但天文学家还是把这种谱线稍向红端移动的现象叫“红移”，反之叫“蓝移”或“紫移”(图 3-7)。

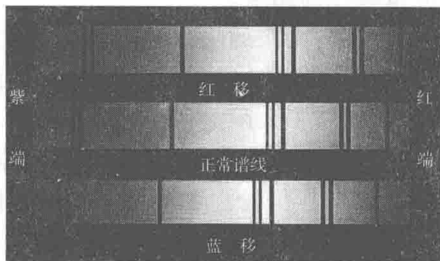


图 3-7　谱线的红移和蓝移


图 3-8 用物端棱镜摄谱仪可同时拍摄许多恒星的光谱

量一量谱线就能确定恒星的运动速度，这一便捷的方法简直如天上掉馅饼，想一想测量恒星横向速度（自行）的艰难吧：每一颗星，都要辛勤地观测几年、几十年、上百年，然后把位置数据拿来对比推算才能求得，即使这样，远一点的恒星自行还是测不出。而光谱分析法不管恒星有多远，只要能拍到它的光谱，立刻就可求出它的视向速度。而且这“视向速度”涵盖极为宽泛，除星体与我们的相对速度外，还可求出太阳自转、双星绕转、恒星脉动、太阳系外行星公转、星系自转、宇宙膨胀等等的速度，瞧，一条彩虹给我们揭示了天体的多少秘密！（图 3-8）

除了光谱中窄窄的暗线之外，彩虹天书连续光谱的主要颜色还能告诉我们恒星的温度。1880 年，美国天文学家德雷帕（Henry Draper）做精细的研究后，把恒星光谱按颜色分成 16 类，按外观以 A，B，C，…，P 的顺序排列。他的后继者发现，与其按外观，不如按温度排列更为合理。1890 年前后，哈佛天文台的学者将这 16 种颜色稍做归并，仍保留原来的字母，然后按温度递降，其主要光谱型可排成这样的次序（图 3-9）：

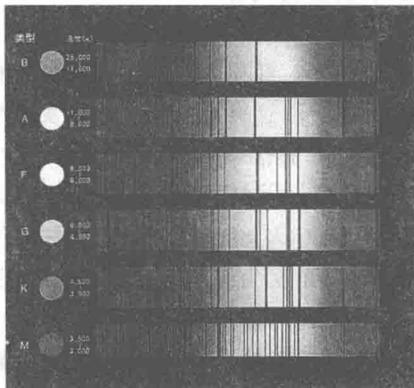


图 3-9 恒星的光谱序

O B A F G K M

这个光谱序非常重要，但顺序难记，我们可以采用一种俏皮的记忆术来帮助我们记它的顺序：

Oh，Beautiful Girl，Kiss Me！

光谱分析——彩虹天书的破译竟能让我们知道了恒星这么多事，真可谓是天文学家的无价之宝了。光谱分析法，加上同时出现的光度学、照相术方法，使天文学的研究面貌为之一新，人们把它称为“新天文学”，后来才改换了一个更贴切的名字——“天体物理学”。测量恒星的温度、结构、化学成分、活动、演化，这在过去仅仅是天文学家的梦想，现在都成为可能了。

万亿恒星排座次——赫-罗图

彩虹天书的破译，导致赫-罗图的建立和随之而来的恒星演化理论的成熟，这可以使我们感到光谱分析法的巨大革命性作用，也感到科学方法的重要性。

1. 赫-罗图的建立

1905年，丹麦天文学家赫兹普龙（E. Hertzsprung，图3-10）在前人测得大量恒星各种数据的基础上，开始尝试从本质上对恒星进行分类排队。他首先认定，在恒星的众多指标中，光谱是最重要的，它反映了恒星的温度。恒星的光谱型O、B、A、G、F、K、M（还有R、N、S等）序列可能还反映了恒星的演化过程。



图3-10 丹麦天文学家赫兹普龙

那么，除了光谱外，在恒星的指标中，还有哪条最重要呢？经思考后他认为，恒星的光度也非常重要。之所以这样想，是因为他发现恒星的光谱与光度之间似乎有一些微妙的联系。比如，最热的O型星的光度总是极大的，而最“冷”的M型红星则两极分化严重，光度不是极大就是极小，相差达上万倍。这又标志着什么规律呢？他决定把所有的恒星以光谱为横坐标、以光度为纵坐标都标在一张图里，看光谱和光度到底有什么关系。

这件事，能想到就不容易了，做起来更难，因为很多恒星，我们不知道它们的距离，也就无法确定它们的光度。赫兹普龙想出一个办法，他以星团作为样本，星团的成员星到我们的距离可以看成是相等的，这样它们的光度就可用目视星等来代替了。1911年，赫兹普龙终于绘出一张图，以光谱型温度为横坐标、亮度为纵坐标，将每颗星标在图上。他发现，这些点在图中并不是随意分布的，它们大都集中在一条狭长的条带中，这说明恒星的光度与光谱确实有着不可分割的关系。



图3-11 亨利·罗素及其夫人

与此同时，美国天文学家亨利·罗素（H. N. Russell，图3-11）也在独立研究，1913年，他把所有已知距离的恒星全都绘在与上述形式类似的一张图中，使恒星光度与光谱的关系更为明晰完善。图中大部分星点分布在从左上到右下的对角线上，这个条带称作“主

星序”，其中的恒星称作“主序星”；主星序上部有一巨星支，再上是超巨星，主星序下部则分布着白矮星。

恒星的光度-光谱关系图的出现，正如元素周期表的出现对化学的促进一样，对恒星天文学立刻起到了巨大推动作用。因为它是赫兹普龙、罗素两人共同建立的，故被称作“赫-罗图”(图 3-12)。

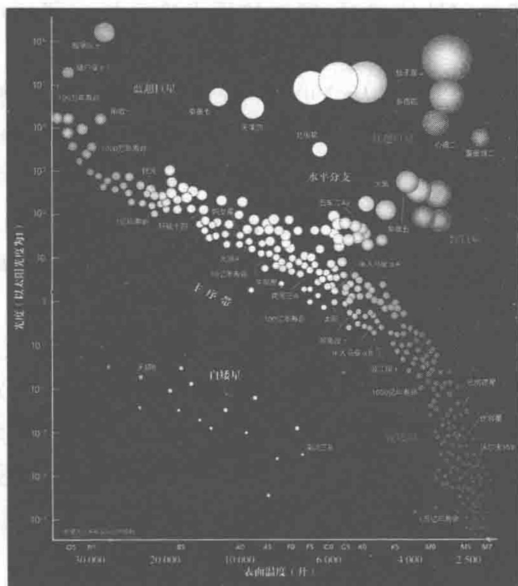


图 3-12　赫-罗图

天文学家把光度极大的恒星叫超巨星，光度特别大的恒星叫巨星，光度特别小的叫矮星，绝大部分主序星都可以看作矮星，但白矮星不属矮星，而是光度更小的恒星。从图 3-12 中可以看到超巨星、巨星、主序星以及白矮星各有明显的“聚集区”。

2. 恒星能量来源的探索

太阳是研究恒星的极好样本，因为太阳是离我们最近的恒星。所以，欲探讨恒星的热量来源、演化，首先得从太阳开始。过去人们早就开始思考太阳热量的来源，有“煤球”燃烧、陨石暴雨的撞击、收缩说等解释。19 世纪中叶，人们已知道太阳表面连金属都是气体的，而且越向里温度越高，说明其热量肯定产生于中心，靠对流传至表面。

罗素分析了恒星的光度-光谱关系后，曾推测：恒星的演化就是一个收缩增温然后又逐渐散热变冷的过程。当然现在我们知道，只有质量远小于太阳的褐矮星，其演化过程才这么简单。



图 3-13　英国天文学家爱丁顿

1924 年英国天文学家爱丁顿(A. S. Eddingtin，图 3-13)获得了足够的恒星质量的资料后(当时获得恒星质

量数据只有一个办法——测量双星的运行轨道),开始探讨恒星质量与光度的关系。他发现,恒星质量大都在 0.2 至 25 个太阳质量之间,而且总是质量越大光度就越大。比如,25 倍太阳质量的恒星,其光度是太阳的4 000 倍。

为此,爱丁顿提出了自己的恒星大气理论。他认为恒星中心的温度当在百万至千万摄氏度以上,向外传递能量主要靠辐射,而不是靠对流。而且,恒星不但不是收缩产生能量,恰恰相反,是其能量向外传递时,辐射的压力恰好抵消了恒星的重力收缩,使恒星得以长久存在。

那么,恒星中心的能量到底来自哪里?自从 1905 年爱因斯坦提出质能转换关系 $E=mc^2$(E 为能量,m 为质量,c 为光速,按此关系式,很少的一点质量就可以转化为巨大的能量)后,就有人认为,恒星是靠某种剧烈消耗自身质量的反应而释放能量的。1925 年人们发现,大多数恒星中的氢占压倒多数,其次是氦,二者加一起占恒星全部元素的 99%,看来这种物质变化可能是在氢、氦间进行的。

1927 年爱丁顿提出,在恒星内部,4 个氢原子核能合成 1 个氦原子核(图 3-14),其中损失 0.7%的质量,变为巨大能量放出。但他提得不理直气壮,因为恒星的中心不够“热”。按经典的物理学理论,恒星内部必须达到几百亿摄氏度高温,才能发生这种热核反应(这与氢弹爆炸的过程相仿),而恒星内部的温度实际只有几千万摄氏度,于是很多人不赞成他的假说。但爱丁顿经过周密思考后,坚持了自己的观点,他相信有某种未知的原因可以解释这个矛盾,因为没有什么比氢核聚变更能完满解释恒星产能方式的了。他辩解说:你们说恒星内部不够热,那你们给我找一个更热的地方看看!

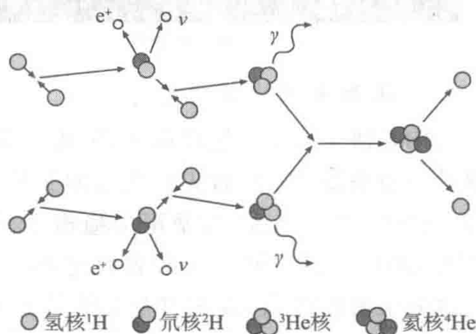


图 3-14　氢核聚变示意:4 个氢核聚变为 1 个氦核的质子—质子反应过程

更热的地方找不到,那种“未知的原因”却终于找到了。这时候,物理学正发生着一场巨大的变革,玻尔、薛定锷、海森堡等一大批科学精英建立了量子力学。从量子力学可以得知:氢原子核并不一定非要几百亿摄氏度的高温才能发生聚变,在几千万摄氏度时,也会有极少极少的氢核通过“隧道效应”克服巨大的电磁排斥力而聚在一起。由于恒星氢核数量的巨大,恒星内部只要靠收缩达到几千万摄氏度,就会发生足够多的聚变反应,放出辐射抵住收缩,稳定地将恒星维持在缓慢聚

变的“主序星”状态。所以，恒星的产能方式并不是“氢弹爆炸”（图3-15），而是“受控核聚变”。1938年，美国的贝特（H. Bethe）、德国的魏茨泽克（C. Weizsäcker）提出完整的恒星内部氢氦热核反应理论，彻底解决了恒星能量来源问题，从而也为建立科学的恒星演化理论铺平了道路。

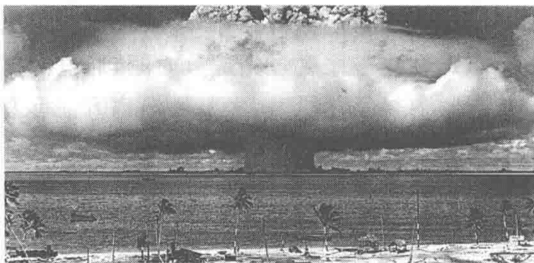


图 3-15　氢弹爆炸的瞬间

3. 恒星演化理论的成熟

罗素完成赫-罗图后，曾认为：所有的恒星开始都是巨大而稀薄的红巨星，收缩后成为O、B型的蓝、白星，温度最高，以后热量越散越少时，温度就逐步下降，恒星沿主星序下移，最后变成红矮星。

由于当时尚未建立氢-氦热核反应理论，罗素的这种恒星演化假说就纯属猜测性质。1926年，罗素根据新资料对自己的恒星演化假说做了重大修改。因为1924年爱丁顿发现了恒星质量与光度的关系，说明在主星序上，不同位置的恒星其质量也是不同的。而观测表明，恒星的质量在其一生中无大的变化，所以，恒星演化时不可能沿着主星序移动。罗素修改后的理论说：恒星演化时是横向穿过主星序的，但在主星序停留时间特别长，赫-罗图的大部区域空空荡荡，正说明代代恒星总是快速经历这些光谱与光度的组合，所以我们统计起来星就很少。

在建立了恒星的氢-氦热核反应理论之后，经过几代天文学家的努力，才终于弄清了恒星在赫-罗图上的演化路线。人们发现，不同质量的恒星，其演化方式也是不同的。我们以质量中等的太阳为例，综合赫-罗图、爱丁顿恒星大气平衡理论以及热核反应理论，可以得出太阳的生命历史是这样的（图3-16）：

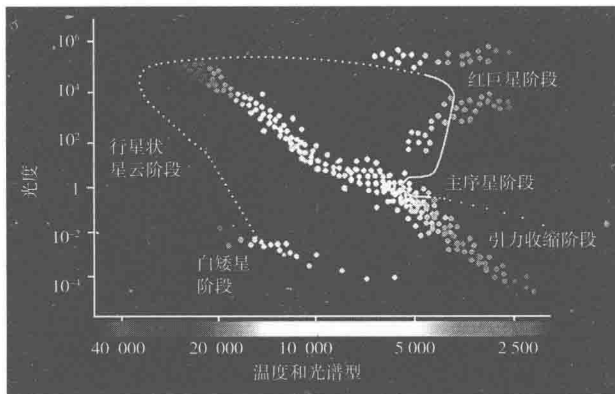


图 3-16　类太阳恒星在赫-罗图上的生命路线

(1)星际物质引力收缩,形成稳定的恒星进入主星序;

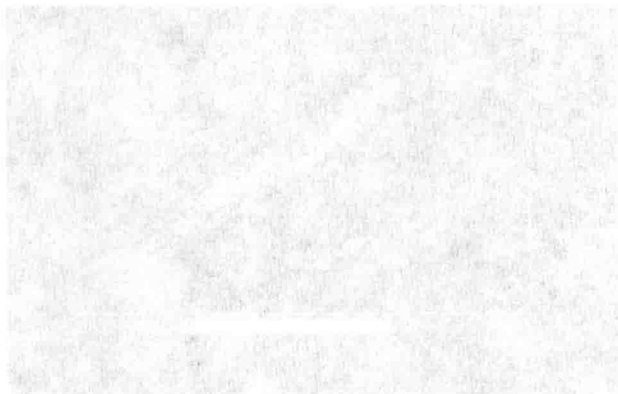
(2)在主星序度过大部分时间,通过内核氢转变为氦,释放能量;

(3)内核氢耗尽时,太阳逐渐离开主星序"上移",演变为红巨星,中心能量由氦核聚变提供;

(4)恒星能源全部耗尽时,太阳很快移向左、下方,坍缩为白矮星,经过漫长的岁月,最后冷却为黑矮星。

就各种恒星来说,质量大的恒星引力也大,收缩得就更厉害,结果其内部温度一定更高,核反应更剧烈,最后总能到达那样一个平衡点:中心放出的更大能量终于抵挡住了恒星的引力收缩,使恒星维持在这个燃烧状态;质量小的恒星引力小,收缩到较低温度就能到达维持燃烧状态的平衡点。所以,质量小的恒星温度低、光度小,演化得非常缓慢。质量巨大的恒星则温度高、光度大,能量消耗得迅速,寿命短。大质量恒星最后会导致超新星爆发并可能形成中子星那样的天体。

恒星演化理论说明,重金属元素只能靠超新星爆发形成。我们的太阳和行星上包含了各种可能的重元素,这意味着太阳已不是第一代恒星,太阳的金属含量代表了它的"转世密码":形成太阳的原始星云一定是在某颗超新星爆发后的"核废墟"中形成,至少是被超新星遗迹"污染"过。



二、坐地巡天·凿幽抉明

工欲善其事，必先利其器。天文学家的法宝除了望远镜和光谱分析之外，还有19世纪发展起来的照相术和测光术，以及20世纪发展起来的“全波天文学”。照相术被发明出来后，很快就被引入天文观测，形成“天体照相”这一极为重要的观测技术。“天体照相”把变幻不定的天象固化，而“天体测光”则把感觉捉摸不定的天象量化，这些技术对天文观测的贡献，实在可用“凿幽抉明”来形容。

随着电磁理论的发展，人们明白可见光只是电磁波的一种，进入20世纪，人们开始接收来自太空和天体的电磁波、红外线、紫外线、X射线、γ射线等，天文学由“可见光天文学”扩展为“全波天文学”。甚至不仅是电磁波，还发展出了对中微子、宇宙线、引力波的探测，这可谓是全方位的“坐地巡天”了。

20世纪以来，虽然出现了全波天文学，但光学望远镜依然是主流，并在这一百多年中得到迅猛发展。主要的发展集中在反射望远镜上，口径越造越大，“世界上最大的天文望远镜”称号曾数易其主。而且从单片发展到多片，从地面观测发展到空间望远镜。总之，正是在这些“利器”的武装下，天文学家对宇宙的了解开始以惊人的速度扩展和加深。

星光的固定和量化——天体照相与测光术

1. 水底月可捞——天体照相

照相术的发明，是人类技术的一项重大突破，从此变幻不定的影像可以“客观地”按原样固定下来了（不像绘画临摹要加进主观成分）。照相技术一出现，很快就用于天文观测，对天象的拍照使人们可以从容地对天象进行测量、分析和保存，很快成为天文观测中一个极为重要的手段。

人们早在1727年就发现了银盐有一见光就变黑的特性，但把这一特性应用于固定影像的技术，经历了漫长的时期。1839年，法国艺术家、发明家达盖尔（L. Daguerre）在镀银铜板上制成一层碘化银，装在他研制的“原始照相机”中，对着景物曝光半个小时，然后在暗室里取出铜板，用汞蒸气熏过，使之显影，于是得到一

张光照处是黑色的"风景照片"(负片)。1839 年 8 月 19 日法国政府把这项发明法公之于众,这一天也成了照相术的诞生日。达盖尔和他的合作者尼普斯(已于 1833 年去世)被认为是照相术的共同发明人,这种技术被称作是银板照相,又叫"达盖尔照相法"。

不过,这种照片是无法"公之于众"的,只能在暗室里保存,因为在室外一见光,铜板上未感光的碘化银也会变黑,影像就消失了。英国天文学家约翰·赫歇尔以其特有的敏感,觉得照相术是大有前途的一项发明,也投入到这项技术的研发改造中,他提出,可以用硫代硫酸钠(大苏打)来溶解掉铜板上未感光的碘化银,这样铜板拿到室外也没关系了,后来人们把这个程序叫"定影"。随后人们又把铜板改为玻璃板,玻璃板上成的像亮处最黑、暗处最透明,称"底片",然后把底片置于涂有氯化银的"感光纸"上,光照后在感光纸上的像又变成了与原先景物一样的亮处最白、暗处最黑的正像了。

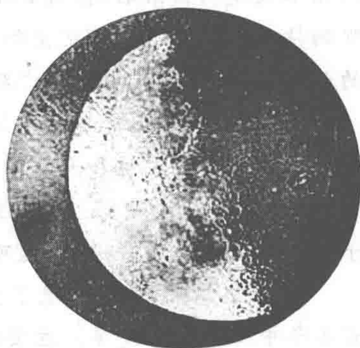


图 3-17　世界第一张天体照片:德雷珀拍摄的月亮

但第一张天体照片还不是约翰·赫歇尔拍的,而是被美国的一位化学家抢了先,1840 年,美国化学家约翰·德雷珀(J. Draper)用小折射望远镜经 20 分钟曝光,得到一张月亮照片(图 3-17)。由于底片制作远不成熟,拍摄的月亮只能看到大体轮廓,其中的"海"还不如肉眼直接看得清楚,不管怎样,这是世界上第一张天体照片,"天体照相术"从此诞生。

因为太阳更加明亮,光线容易掌握,1845 年,法国物理学家斐索(A. Fizeau)和傅科(J. Foucault)合作,在巴黎用望远镜拍到了第一张太阳照片(图 3-18)——当然只能是"黑白"照片,效果很不错,日面上的黑子清晰可见。

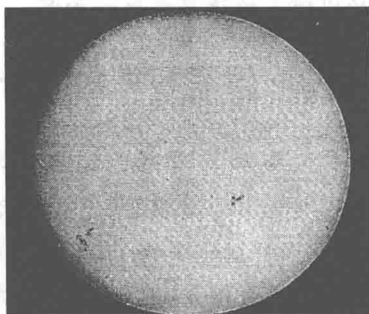


图 3-18　1845 年,法国物理学家斐索和傅科拍摄的世界上第一张太阳照片

1849 年,美国天文学家邦德(W. Bond)用口径 38 cm 折射望远镜曝光 20 min,拍摄到一张月亮照片,像质非常好,两年后这张照片在世界博览会上展出时引起人们的极大兴趣。

达盖尔照相法需要长时间曝光,拍人像时人需要在脸上涂上白粉,一动不动迎着烈日坐半个小时,天文照相必须长时间平稳跟踪,才能拍出清晰的照片。所以,一直有人在研发缩短曝光时间的技术。1851 年英国摄影师、雕刻家斯科

特·阿切尔(F. S. Archer)发明了珂珞酊湿片,使拍摄一般景物时的曝光时间缩短到 10 s 左右。珂珞酊是一种以酒精等为溶剂的硝酸纤维素溶液,阿切尔把碘化物放入珂珞酊溶液,再把新溶液涂在玻璃片上,酒精蒸发后,干燥的药膜便附在玻璃片上。照相前,将附着药膜的玻璃片浸入硝酸银溶液中,取出后便成为"珂珞酊湿片",装入照相机的暗箱就可以拍摄了。由于它能快速感光,一度大受欢迎。珂珞酊湿片的缺点是只能现用现做,而且用于天文照相只适于拍摄太阳,拍摄暗天体则不行,因为还需要较长的曝光时间,而时间一长,湿片就逐渐干涸而失效了。1858 年,阿切尔的朋友、英国天文学家德拉鲁(W. de La Rue)在伦敦附近的基屋天文台用珂珞酊湿片法拍到了非常清晰的太阳黑子像。很快,拍摄太阳黑子成了记录日面每天状态的一种常规活动,这是照相术在天文观测上最早的成规模的应用。

1860 年,德拉鲁在西班牙观测日全食时,与别人合作拍摄到了清晰的日珥照片。1869 年 8 月 7 日,美国肯塔基州发生日全食,美国哈佛大学观测队用珂珞酊湿片法又拍摄到了十分清晰的日冕照片。

1871 年,底片研制又取得重大进展,英国化学家马多克斯(R. Maddox)发明了用于照相的明胶干板。明胶是一种动物胶原制成的乳胶,马多克斯将含银的化合物溶于这种乳胶中,再在暗室中将它涂在玻璃板或软片片基上,慢慢晾干,便成为干的底片。这种干片感光灵敏度高,又不用现用现制,经后人改进后的干片技术感光灵敏度已远远超过珂珞酊湿片,拍摄普通景物时只需要曝光几十分之一秒就行了。因此"干片"大受欢迎,很快就取代了湿片。

从此照相术基本成熟,除了在社会生活中广泛应用外,也开始在天文观测上大规模应用。在这之前,天文学家只能使用肉眼通过望远镜观测天体,肉眼是唯一的"辐射接收器"。照相术的问世为天文学家提供了一种新的辐射接收器——照相底片,它与人眼相比有四大优点:①客观性。人眼会有错觉和幻觉,特别是接近分辨极限时,错觉和幻觉更容易产生,而照相底片不会有这种情况,它能客观地反映天体的真相。②累积性。照相底片长时间曝光可以把很暗弱的天体拍下来,而人眼在 0.1 s 里看不见的天体,盯着看 10 s 仍然看不见。③文献性。照相底片能长期保存,通过比较同一天体相隔长时间底片的变化,可以获得许多发现。像日全食的闪光光谱,持续仅一两秒钟,只能在照相术出现后拍下来进行测量研究。④高效性。借助照相底片一次可以把望远镜视场中的恒星全都拍摄下来,然后做进一步测量研究,比起肉眼逐一测量效率要高得多。

照相术与光谱分析法结合,更使后者如虎添翼。光谱分析法问世后的最初若干年,天文学家只能用肉眼观察分光镜下天体的光谱,看太阳的光谱还比较容易,看行星、恒星的光谱就比较吃力。有了照相术后,又发明了棱镜照相机和有缝摄

谱仪，来拍摄天体的光谱，“天体分析”就变得方便、精密和准确了。虽然肉眼看到的光谱是彩色的，而底片上的光谱是“黑白”的，但天文学家仍可毫不费力地“猜”出底片光谱像的谱线、暗线属于什么波长。

1882年，英国天文学家大卫·吉尔(D. Gill)在非洲南端的好望角天文台，与一位照相馆的摄影师合作，把一架装有明胶干片的精良照相机固定在一架可自动跟踪的望远镜上，成功地在一张底片上拍到几千颗恒星的星像，冲洗好底片后，用半天时间就整理出了这几千颗恒星的位置和星等，如果用过去的目视方法记录这些恒星，要花费几个星期的时间。从此他开始了照相巡天观测，1885－1891年，他用照相方法拍摄了几乎全部南天天空。他的合作者、荷兰天文学家卡普坦(J. C. Kapteyn)则同步帮助测量和归算，于1896出版了《好望角照相巡天星表》，表中列出星等亮于10等的454 875颗恒星的位置和视星等，这是历史上第一本照相测量星表。

1969年美国贝尔实验室发明的CCD技术，是照相术的又一场革命。这是一种电荷耦合元件，可将光学影像直接转化为数字信号，通过计算机传输、存储和复现。从此天文望远镜与计算机联姻，天文学家不需要再凝视星空或摆弄底片，而是直接在计算机屏幕上处理了。CCD的最大优点是：记录的数据可以进行科学处理。最重要的处理是可以从图像中去除背景(比如光污染)的影响，几乎不会造成数据的丢失，如同魔术一般，这在胶片时代是不可想象的。比如，现在一台8英寸的望远镜在城市的灯光或月光下仍然可以拍摄到15等甚至16等的恒星，这比用同样的望远镜在山区黑暗的情况下肉眼所能见的极限还要多得多。

20世纪以来，由于观测手段的增加、精密度的提高，出现了很多精密而完备的星表，像《博斯星表》、《星云星团总星表》(NGC)、《变星总表》(GCVS)，美国海军天文台根据过去50年积累的7 000多张施密特巡天底片编制的《美国海军天文台全天星表》，提供了全天1 045 913 669个天体的位置、自行、星等数据，极限星等达到21等。

2. 镜中星可量——天体测光

过去，恒星的星等一直是靠肉眼凭感觉估测。那么，星星的星等相差1等，亮度到底差多少？1857年，英国天文学家普森(N. R. Pogson)研究了前人测定的大量恒星的星等和亮度资料，提出了一个公式。这个公式表明，星等如果差1等，亮度会差2.512倍，差5等，正好亮度差100倍。普森公式虽然从理论上解决了亮度与星等之间的关系，但肉眼通过望远镜估测恒星星等，测量数据往往因人而异，误差很大。

1859年，德国天文学家泽尔纳(J. Zollner)发明了目视偏振光度计。它被设

计为两条光路，一条是由望远镜成像的星光光路，另一条是亮度恒定的人造假星形成的比较光路。比较光路中有两块棱镜，利用光的偏振性，改变两块棱镜的相对位置，可以使人造假星的光发生变化，人造假星的像也呈现在望远镜目镜的视场中。测星时，调节棱镜间的旋钮，直到望远镜视场中看到人造假星和待测星一样亮为止，通过旋钮上的读数，可以直接读出待测星的星等，这比用直接在望远镜视场中去估测精确得多。1861 年，他发表了一组 226 颗亮星的光度计星等星表。

不久后，英国天文学家普里查德（C. Pritchard）又发明了光劈光度计。这种光度计设计得简单而巧妙：它是利用光线通过特制玻璃迅速衰减的原理制作的，主要部件是一个置于望远镜光路中、能从薄到厚横向移动的楔形光劈。观测时，调节光劈的横向移动，如果是暗星，调节到星光通过光劈的较薄处时，星光就会衰减消失；如果是亮星，调节到星光通过光劈的较厚处时，星光才会消失，这样调节到被测恒星的光刚刚看不见时为止，这时旋钮指示的就是待测星的星等。普里查德用他的光度计测量了大量恒星的亮度，1886 年出版了一部更完善的光度计星等星表。

后来，美国天文学家皮克林（W. Pickering）又领导设计了一种以北极星为比较星的光度计——哈佛子午光度计。他领导的哈佛天文台使用这种光度计，做了大量的恒星星等测量，1908 年出版的《增订哈佛光度星表》，收入了亮于 7 等的四万五千多颗恒星。

以上测光还都是目视测光，使用光度计后测量精度虽大有提高，但比较判断起来还是要靠肉眼估测，而且作为比较星的人造光源，可能会不稳定或颜色与被测星不一致，这都会影响测量结果。哈佛子午光度计用北极星作为比较星，但北极星是一颗三合星，其主星是变幅达 0.09 等的造父变星，用它作为标准会带来较大的测量误差。所以，上述光度计再精确，测光的误差也不会好于 0.2 等。照相术问世后，人们又找到一种新方法——照相测光。

成规模的恒星照相测光是由英国天文学家大卫·吉尔的照相巡天同时开始的。大卫·吉尔在非洲南端的好望角天文台主要是想拍摄 1882 年出现的大彗星，但发现其中的几千个恒星的像也很清晰，都呈圆点，而且亮星圆点大，暗星圆点小，因此启发了他巡天观测、用照相方法来确定恒星位置和星等的打算。

测量底片上恒星星像的星等，开始是测量星像直径，凭已有的星等数据建立起星像直径与星等间的关系，然后就可在底片上一量得出，既快速又方便。后来为了提高精度，有人设计了一种仪器，直接测量底片上星像的浓淡程度（又称星像的密度），可以更为客观地推算出星等。使用这种方法，星等的测量误差只有 0.1 等，甚至 0.05 等，远比目视测光的精度高得多。

照相测光的精度虽然大大提高，但由于底片的颗粒可能不均匀，显影、定影过程的不确定因素也会影响成像质量，再进一步精密就不容易了。后来光电效应被发现后，又出现了光电测光。1910 年，美国伊利诺伊大学天文台的斯特宾斯(J. Stebbins)，在口径 30 cm 的折射望远镜的焦平面，装一个硒光电池作为辐射接收器，把星星的亮度直接转化成电流，而电流是可以用仪器直接度量的，于是光电光度计诞生了。斯特宾斯用它测得了食双星大陵五平滑的光变曲线。

后来，天文学家改为直接用光电管来测量星等，来自望远镜物镜的星光照射到光电管的光阴极上，激发出的电子被光电管的阳极收集，产生电流使电流计偏转，从而指示出天体的星等。不过，这种电流太微弱，很难测到太暗的星星，到 20 世纪 40 年代光电倍增管问世后，情况才发生根本性的变化，光电倍增管可以使激发出的光电子一次次倍增(图 3-19)，最后产生的电子数变成最初的上百万倍，这样极微弱的星也会被阳极收集到足以检测出来的光电流。光电测光的精度可达千分之几星等，是天体光度学中精度最高的测量方法。它的缺点是只能用望远镜逐星测量，不像照相测光那样可以一次拍摄大量天体。

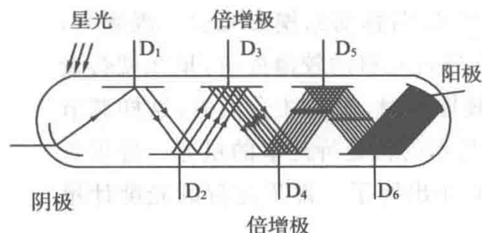


图 3-19　光电倍增管原理

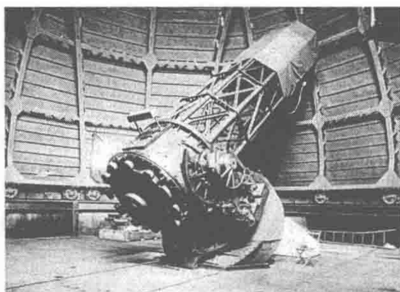
从单镜面到多镜面——光学望远镜的新发展

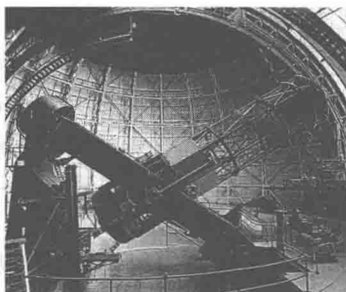
1. 单镜面反射望远镜的发展

折射望远镜的发展在 19 世纪末就已告一段落，那时叶凯士天文台制作的 1.02 m 口径折射镜到现在依然是最大的折射望远镜。芝加哥大学的天体物理学家乔治·海尔(G. Hale，公元 1868—1938，图 3-20)制成这台折射望远镜后，便把精力投向更大口径反射望远镜的制造。1908 年，他建的口径 1.52 m 的反射镜在加州威尔逊山天文台投入使用(图 3-21)。与此同时，他又说服一位洛杉矶富商胡克投资 4 万5 千美元造一台更大的反射望远镜。1917 年，这台被命名为“胡克”的望远镜(图 3-22)在威尔逊山落成，它的口径为 2.54 m，终于超过了半个世纪前罗斯伯爵制造的金属面反射镜“大海怪”，在性能当然更是大大超过，可拍摄到 20 等的星体。



图 3-20　乔治·海尔


图3-21　加州威尔逊山天文台口径 1.52 m 的反射望远镜，1908 年建成


图 3-22　威尔逊山的 2.54 m 胡克望远镜，1917 年建成

胡克望远镜在以后的 30 年间一直保持着"望远镜之王"的地位。海尔在退休之后，壮心不已，筹划造一台更大的望远镜。这台望远镜由石油大王洛克菲勒出钱，建造过程充满了艰辛，其反射镜玻璃毛坯重达 20 t，浇铸完之后光冷却就用了 10 个月，为磨出满意的抛物镜面，共磨去了 4.5 t 玻璃，而耗费掉的金刚砂竟达 28 t。海尔没有完成这项工作就去世了，工程由威尔逊天文台继续下去。1948 年，这台巨大的 5.08 m 反射望远镜(图 3-23)落成于帕洛玛山(威尔逊山因洛杉矶的光污染，环境已不理想)，命名为"海尔望远镜"，天文学家用它可看到 21 等星，拍摄到 23 等的星体。

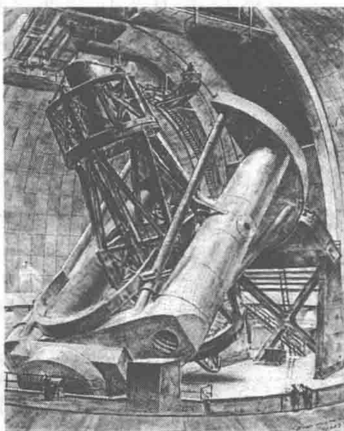

图 3-23　帕洛玛山上的 5.08 m 口径海尔望远镜


图 3-24　苏联高加索特别天体物理天文台的 6 m 望远镜

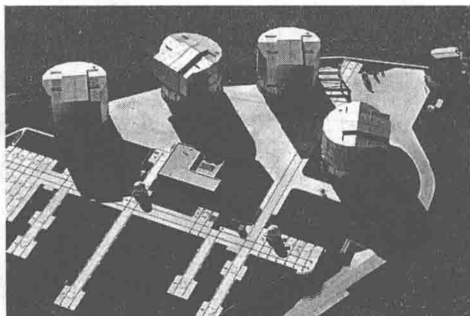
又经过近 30 年，才有更大的望远镜出现。1976 年，苏联制造的口径 6 m 的反射镜(图 3-24)安装于高加索特别天体物理天文台，投入观测。这台望远镜不但在口径上更大，而且在操纵、跟踪上也首次采用电脑程控经纬仪方式，操作便利，使镜体永保稳定，在技术上大大领先了。不过，由于镜面太大，本身自重导致变形，结果其光学性能还不如帕洛玛山的 5 米镜。这个现象说明，这种类型的反射

望远镜的尺寸可能也要走到尽头了。

直到20世纪末，靠新材料新技术，人们才又尝试磨制更大的单镜面。2001年，4个8.2 m口径的单反射镜面望远镜(图3-25)做成，放置于坐落在南美洲智利的欧洲南方天文台。4台望远镜由电脑统一调整，依靠计算机不断调整镜面下的支撑点，以保证镜面不会被自身的重量扭曲。它们协作观测时相当于16 m口径望远镜，其灵敏度之高，假如月球上有一辆轿车的话，它们可以分辨出轿车的两个前灯，因此有人希望用它探测到太阳系外绕其他恒星运转的行星。



远景



近景

图3-25 欧洲南方天文台的4个8.2 m反射镜组成的甚大望远镜

2005年10月，又一台单反射镜面望远镜——坐落在美国亚利桑那州格雷汉姆山顶的大型双筒望远镜LBT拍摄了第一幅照片，它每个主镜的直径为8.4 m，两镜协作的分辨率相当于口径为22.8 m单个望远镜的分辨率。

2. 巡天利器——折反射望远镜

除了镜面变形等因素外，大型反射镜的抛物面成像还有一种先天的缺憾：视场稍微远离中心的地方就变得模糊起来，因此它的视场不得不被限制得非常小，望远镜越大，它的视场就越小。所以，要想较快地把整个天空都巡视一遍，大型反射镜是无法胜任的，因为这需要“扫描”很久很久。

为弥补这种缺陷，1930年，德籍俄国光学家施密特(B. V. Schmidt，公元1879—1935)发明了一种同时使用反射镜和透镜的望远镜，称“折反射望远镜”(图3-26)。这种望远镜的反射镜是球面镜，折射镜是形状复杂的改正透镜，改正透镜先对入射光进行调整，再反射成像。改正镜相当于给“散光眼”戴了一副眼镜，这样就大大纠正了反射镜面的缺憾，最大限度地避免了像差，因此它的视场特别开阔，非常适于大范围巡天观测照相。

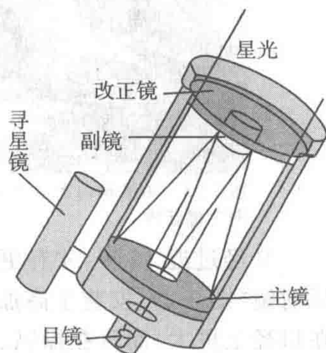


图3-26 折反射望远镜光路示意图

当然，由于透镜不可能做得太大，加上改正透镜形状复杂难磨，折反射望远镜在口径比赛中占不到优势。目前最大的折反射望远镜在德国，改正透镜直径为 1.34 m，反射镜为 2 m。

1940 年，苏联的马克苏多夫(D. Maksutov)又发明另一种折反射望远镜，他将改正透镜截面做成弯月形，截面都是球面，容易磨制，但因透镜太厚重，更限制了口径的增大。

中国于 2009 年建成的"郭守敬望远镜"(图 3-27、图 3-28)，设计时称"大天区面积多目标光纤光谱望远镜"(LAMOST)，坐落于国家天文台兴隆观测站，是一架卧式中星仪施密特式折反射望远镜。它的有效口径为 3.6/4.9 m(改正镜也用反射镜，应该叫"反-反射望远镜"了)，视场直径是相同口径反射望远镜的 10 倍以上，大焦面上放置4 000 根光纤，连接到十几台光谱仪上，一次观测最多可同时获得 4 000 个天体的光谱，是世界上大视场兼大口径光学天文望远镜之最，也是世界上光谱获取率最高、最有威力的光谱巡天望远镜，为大视场、大样本的天文学研究提供了有力的工具。

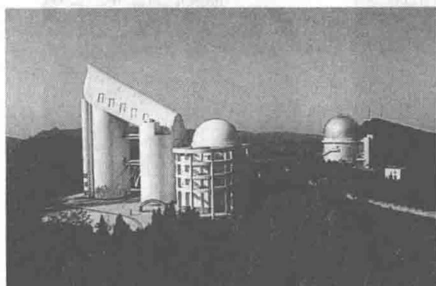


图 3-27 坐落于国家天文台兴隆观测站的"郭守敬望远镜"

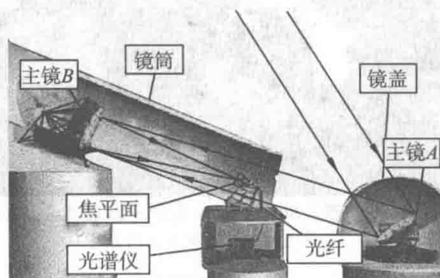


图 3-28 "郭守敬望远镜"的光路图

3. 破镜重圆——多镜面望远镜

说到底，天文望远镜最重要的性能指标还是聚光能力和分辨率，它们的提高必须靠加大望远镜的口径来实现。所以，要想建造威力更大的望远镜，还应继续加大反射望远镜的口径，但苏联 6 m 镜的教训使科学家很久不敢冒险磨更大的镜面。那么，既然整块镜面难以磨制，而且容易变形，科学家就考虑改用一种"破镜重圆"技术，制造"多镜面"望远镜(图 3-29)。这种新型望远镜的物镜是把许

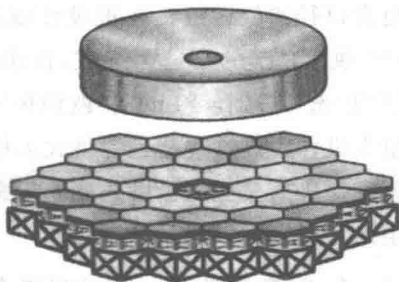


图 3-29 传统单镜面物镜与多镜面物镜的比较

多镜面拼接在一起,用现代计算机技术对每块镜面的曲率严格控制,又称“新一代望远镜”。

1979 年,美国亚利桑那州的霍普金斯天文台建成第一台多镜面望远镜,它由 6 个 1.8 m 直径的单镜面反射镜组成,组合后的口径相当于4.5 m。随后,这种技术越来越成熟,1993 年,“凯克 I 号”多镜面望远镜在夏威夷 4 200 m 高的死火山——莫纳克亚山顶落成。它由 36 个 1.8 m 的六边形镜片拼合而成,由电脑统一调整,总口径为 10 m。1996 年又建成同样性能的“凯克 II 号”。它们的分辨率达到 0.005 角秒,1998 年用它拍到了 100 亿光年以外的星系。(图 3-30、图 3-31)

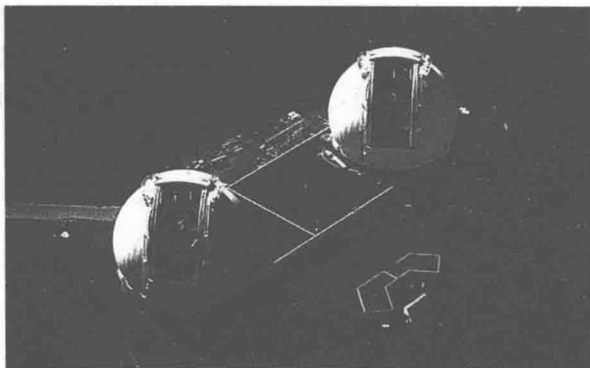


图 3-30　监视天空的一双巨眼——凯克 I 号(右)、凯克 II 号(左)

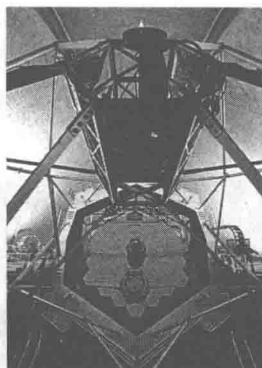


图 3-31　凯克 I 号望远镜镜面

2005 年 11 月,主镜面直径为 11 m 的南非大望远镜 SALT 在开普敦东北 380 km 外的一座小山上投入使用,它的主镜也是用许多六边形的小镜片拼接而成的。

“破镜重圆”技术为望远镜口径的进一步加大提供了广阔的前景。现在,一批更大口径的望远镜正在被设计或筹建中。其中,“30 m 望远镜”(TMT),镜面由 492 块六角形的小镜面组成,由美国、加拿大、日本、中国等联合建造,预计 2018 年“开光”。口径 40 m 的“欧洲极大望远镜”、口径 100 m 的“绝大望远镜”(OWL)也在设计中。这些望远镜将大大提高天文学家的“眼力”,夏威夷大学天文学系主任库德里斯基说:“借助这样的天文望远镜,你能够探寻到大爆炸第一秒与宇宙中生命形成之间的联系。”

4. 威力无比——太空望远镜

天文台基本都是建在高山上,这样做除了可以避开城市灯光、避开低云雾气之外,也可以避开较浓密、扰动较强的低层大气,但大气层实在太厚了,在高山顶

上观测只能使大气层稍稍变“薄”一些而已。按望远镜的原理,如果在没有大气的外空间观测,其性能一定会大大提高。所以,在空间技术成熟后,科学家开始考虑把望远镜送上太空。

1990 年 4 月 25 日,口径 2.4 m 的哈勃太空望远镜(图 3-32)由“发现号”航天飞机送上绕地球运行的轨道。它以 20 世纪最著名的天文学家哈勃的名字命名,镜体长 13.3 m,重 11.6 t,在 600 km 以上的高空运行。刚运行时它出现过较严重的故障,1993 年故障好不容易被排除。哈勃望远镜发回的图片证明,由于无大气扰动和消光,空间观测是远远优于地面观测的(图 3-33)。因此,哈勃望远镜口径虽不大,成像质量却极好,成为有史以来最优良的天文望远镜,其清晰度是当时地面最好的天文望远镜的 10 倍以上,其极限星等相当于从地球北极看到非洲好望角的一只飞舞的萤火虫。

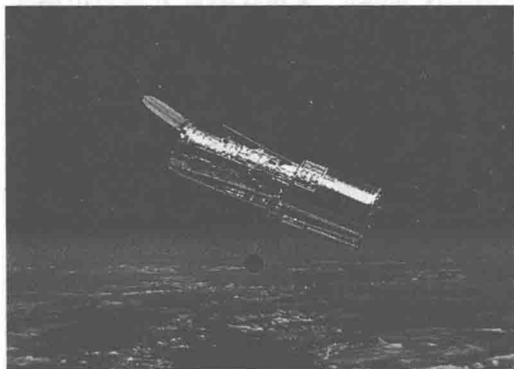


图 3-32　1990 年美国宇航局发射的哈勃望远镜

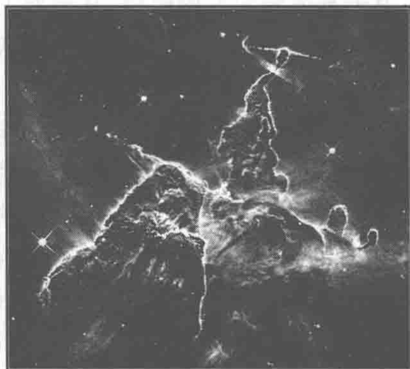


图 3-33　哈勃望远镜拍摄的船底座星云细部(塔状的氢气团裹挟着灰尘挺起,组成高达三光年的柱子,这是恒星的诞生地)

2009 年,宇航员对哈勃望远镜进行了“大修”,多数零件都被性能更好的新零件代替,使望远镜的性能大大加强,其探测深空的距离又延伸了 2 亿至 3 亿光年,可以观测到宇宙诞生后 5 亿年至 6 亿年时的场景,服役期可延长到 2020 年。

目前,美国正在研制新一代太空望远镜,以接替将来退役的哈勃镜。新太空望远镜“韦伯”主镜口径预计 6.5 m,性能比哈勃镜要高出 10 倍,将于 2018 年升空。

全波天文学——从“窗口”到“全方位”

从远古直到 1930 年,人们获得天体信息的媒介只有一种:可见光。望远镜发

明以后，人们拼命制造更大更好的望远镜，也依然是想收集到更多的可见光，看到更清晰的天体光学影像。19 世纪，人们才知道可见光只是电磁波的一种。到 20 世纪，科学家才排出电磁波的波谱(图 3-34)，发现它是极宽极宽的，频率从低到高，包括无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、γ 射线等，可见光仅占其中极小极小的一段，在整个波谱中，频率的值翻了 60 番，其中可见光仅占 1 番。

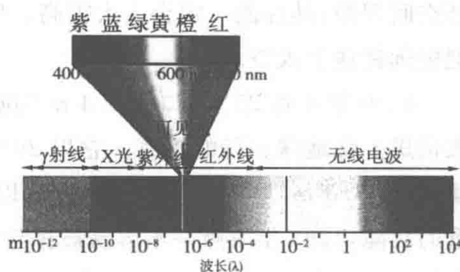


图 3-34　电磁波谱

天体不一定只发射可见光，也可能发射其他电磁波，如果所有波段的电磁波我们全能接收到，那对天体的了解该会增加多少倍！可是，到 20 世纪人们才明白，由于有浓密大气的阻隔，从地面上观测天体，就像一条鱼从湖底去看空中的飞鸟一样困难。浓密的大气就像一层天棚，把我们封闭在地球温室里，地球温室只有可见光这一扇小小的“毛玻璃”窗口，让我们在朦胧中一窥宇宙奥秘。后来人们才发现，还有几扇“射电窗口”悄悄向我们开放着(图 3-35)。至于其他的波段，如对生命有害的紫外线、X 射线、γ 射线等，大气层把它们全部吸收阻拦。这样虽然保证了地球上诞生了生命，却让我们从此孤陋寡闻，好在我们终于知道了这些射线的存在，看来只有把仪器送出空间，到大气层之外去探测它们了。

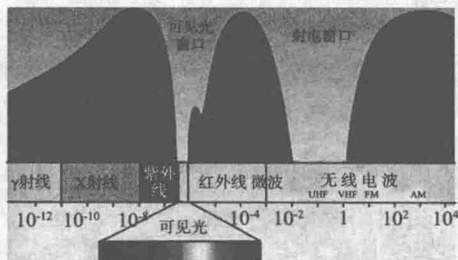


图 3-35　大气层中电磁波的两个“窗口”(曲线围起的阴影部分表示大气对该波段电磁波的吸收程度)

1. 打开电波窗口——射电天文学的诞生

无线电波指波长约从 1 mm 到 10 000 m 的电磁波。自从物理学家预言了它们的存在，并能发射、接收无线电波之后，人们就设想天体也应该发射无线电波。1910 年，有人到山顶架起天线试图接收太阳射电，但由于探测方法太原始，没有结果。


图 3-36　射电天文学之父——卡尔·央斯基

1931—1932 年，美国无线电工程师卡尔·央斯基(K. Jansky，公元 1905—1950，图 3-36)研究短波通信干扰时，研制了一架天线组，它有点像双翼飞机的骨架，而

且会旋转，央斯基称它为“旋转木马”（图3-37）。在工作中，他探到一种来源不明的轻微噪音。因为这类噪音对通信干扰几乎没有影响，换了别人，也许早就把它抛在一边干自己的正事儿去了，但央斯基却仔细钻研了这个噪音的特点，发现它来自天空特定的方向，经过一年的监测，他证明了这种电波来自银河系中心。

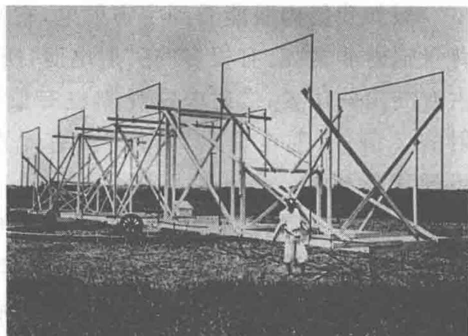


图 3-37　人类第一次测到宇宙射电的“旋转木马”

就这样，央斯基终于打开了人类认识宇宙的第二个窗口——射电窗口。天文学扩展出了一个新领域——射电天文学。1973 年，为纪念他的首创之功，国际天文学联合会决定把天体射电流量单位定名为“央斯基”，简写作“央”。1 央$=10^{-26}$ W/($m^2\cdot$Hz)。

“射电”一词可能会令初学者误解：“电”怎么会“射”？其实“射电”就是“无线电”的另一种译法。radio astronomy 本可译成“无线电天文学”，但在 20 世纪中叶，“无线电”常被用来指称“收音机”或“无线通信”，这样“无线电天文学”很容易引起误解，让人以为是与广播或通信有关的天文学，所以国人创出“射电”一词，专用于天体发射的无线电波。

1937 年，美国工程师雷伯（G. Reber）建成第一座抛物面射电望远镜，它的直径是 9 m，工作波段在 2 m 左右，7 年后绘出 1.87 m 波长的射电天图。二次大战期间，英军的雷达无意中探测到了来自太阳的电波。1947 年发现的仙后座 A，是天空除太阳以外最强的射电源，据测算，它是 1 700 年前后爆发的一颗银河超新星的遗迹。

射电窗口与可见光窗口有很大区别。首先，电波可穿过云层，所以射电窗口无遮无拦，可以不分晴雨昼夜地全天候观测；其次，射电窗口的波段非常宽，频率上可翻 11—12 番，实际上射电窗口不止一个，其间被一些不能通过大气的波段“窗框”隔开。正因为射电波段非常宽，所以射电望远镜各有自己的工作波段，不可能都覆盖（图 3-38）；另外，普通射电望远镜只能探测到射电的强度和方位，不能成像。

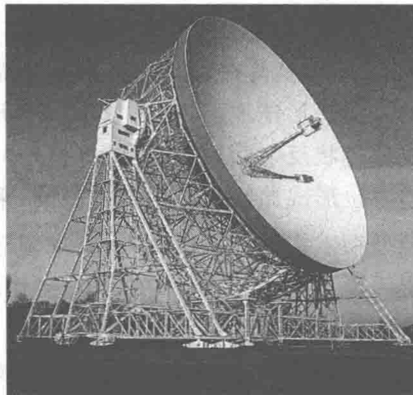


图 3-38　英国柴郡卓瑞尔河岸天文台的洛弗尔射电望远镜（1957 年投入使用）

假如我们肉眼能看到宇宙射电，它与光学窗相比，更有不同之处：①射电窗的背景辐射非常强，有很多"亮"射电源，所以在射电天空中，太阳远不像光学窗那样占有突出的位置；②射电窗观测也有蒙气差（低空大气的折射），而且是光学折射的2倍；③射电窗的"彩虹"没有元素谱线，因射电产生不是热机制，而是同步加速造成的。

目前，世界最大的全可动抛物面射电望远镜的口径为100 m，德国的普朗克射电天文研究所和美国弗吉尼亚州绿岸天文台（图3-39）各有一台。最大的固定抛物面射电望远镜（图3-40）在美国的阿雷西博射电天文台，口径是305 m，坐落于波多黎各的一个天然碟形盆地中，靠地球自转来改变指向。

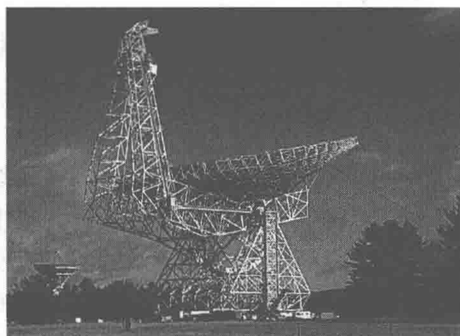


图3-39　美国弗吉尼亚州绿岸天文台100 m口径射电望远镜

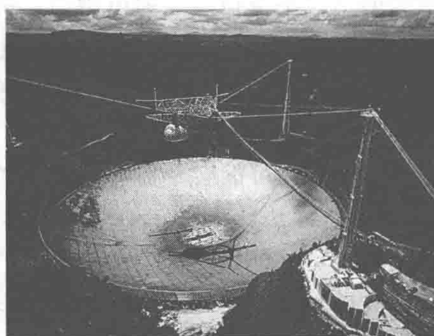


图3-40　美国的阿雷西博射电望远镜

更大的单口径射电望远镜（Five hundred meters Aperture Spherical Telescope，简称FAST，图3-41）目前正在中国建造。这台射电望远镜口径为500 m，坐落在贵州省黔南州平塘县的岩溶碟形洼地上，它由数千块单元组成球冠状反射面，并通过计算机随时调整方位形成抛物面以会聚电磁波，采用轻型钢索拖动并联机器人，实现望远镜的指向跟踪，它的综合性能可比阿雷西博望远镜高10倍。预计在2016年建成，将在寻找暗物质暗能量、探索宇宙边缘、寻找地外文明上起到重大作用。

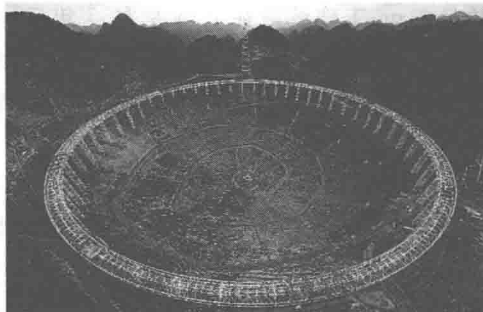


图3-41　建造中的FAST

与可见光相比，无线电波的波长很长，因此传统（单面）射电望远镜虽然做得已经很大了，但其分辨率仍然较低。科学家发现，如果把多个单面射电望远镜排成阵列，合并观测，其分辨率就会大大增加。甚长基线（上万千米）干涉仪的分辨

率已超过了最好的光学望远镜。另外，一种新型射电望远镜——综合孔径射电望远镜则采用可动天线扫描式，能直接成像，更是一项突破型的新技术。（图 3-42、图 3-43）

图 3-42　坐落于美国新墨西哥州的甚大阵射电望远镜

图 3-43　位于北京密云、由射电望远镜天线阵组成的射电干涉仪

按量子力学理论，电磁波的波长越长，携带的能量就越小，射电波段是整个电磁波谱中波长最长的一部分，所以宇宙射电携带的能量是极小极小的。据计算，到目前为止，全世界所有射电望远镜接收的遥远宇宙射电总能量只不过与一枚雪花落地时撞击的能量相仿。怪不得射电窗口对我们敞开了千万年，我们却一直不知道它的存在呢。

2. 走出窗口全“视野”观测——空间天文学

除可见光和无线电波外，其他电磁波如 γ 射线、X 射线、紫外线以及大部分红外线，则对我们“窗口”紧闭，大气把它们几乎全部吸收，避免了它们的高能量对地球生命的危害。从 20 世纪 40 年代开始，随着探空气球、火箭、人造卫星相继出现，人们才相继把探测设备放到高空或大气层以外对天体进行全波探测。电磁波的各波段被大气吸收的方式不同，如 1 至 10 mm 的微波以氧、水汽吸收为主，红外线主要是水汽、二氧化碳吸收，紫外线是臭氧吸收，X 射线是原子吸收，硬 X 射线、γ 射线则是核吸收。

红外线是介于无线电波和可见光之间的波段，低温天体发射红外线较强，因此红外线探测的主要对象是低温天体。大气对红外线的吸收严重，但将红外望远镜建在高山顶上也能勉强观测，如果用气球、火箭把它送上高空则更好，最好是把它放在人造卫星上。

天文学家非常重视红外望远镜的发展，因为在探测遥远宇宙时非常有用，比如，宇宙空间的氢会吸收 91 nm 紫外光，但当星系红移达到 3.5 时，此吸收线已移动到可见光段，红移到 7.5 时，则移动到红外线波段了（对应的宇宙年龄是 8 亿

年)，必须用红外望远镜观测。

2009 年欧洲空间局发射的赫歇尔空间天文台，实际是一台远红外线到亚毫米波段的太空望远镜，口径 3.5 m。运行轨道与斯皮策望远镜(图 3-44)相似，在星系、星云的探测上都有新的发现，2013 年因冷却液消耗完毕而停止工作。



图 3-44　2003 年美国宇航局发射的 "斯皮策" 红外望远镜

"斯皮策"红外望远镜被誉为"红外领域的哈勃"，运行在一条位于地球公转轨道后方、环绕太阳的轨道上。它的工作波长在 3—180 μm 之间，其红外之"眼"能够穿透尘埃、气体，探索到更多的宇宙奥秘。斯皮策是普林斯顿大学天体物理学家，他在 70 年前首先提出了把望远镜放入太空以消除地球大气层遮蔽效应的建议。

紫外线则是位于可见光中紫光以外的部分波段，紫外望远镜的主要对象是极高温天体，因为表面温度在 2 万摄氏度以上的天体发射的几乎全是紫外线，大气对紫外线吸收极严重，所以必须用火箭、卫星将仪器送上高空观测(图 3-45)。如上所述，遥远星系或类星体发射的紫外线在巨大红移效应的作用下也可移进可见光段，这时直接用光学望远镜观测就行了。

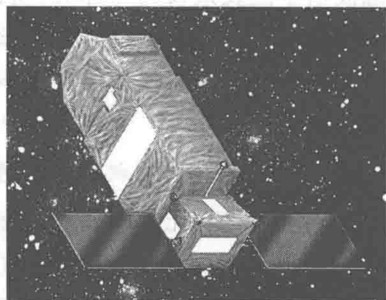


图 3-45　美国在 1999 年向近地轨道发送的太空紫外望远镜 FUSE

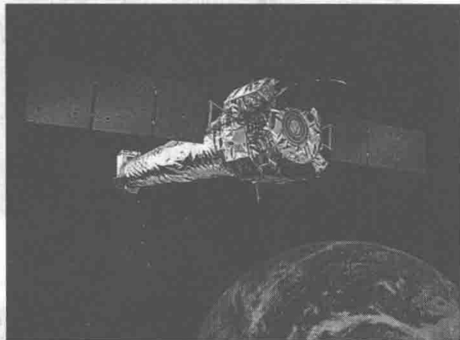
X 射线、γ 射线的波长更短，完全被大气阻拦，必须用火箭、卫星在大气层外观测。X 射线探测的成果是最激动人心的，因为在天空发现了大量 X 射线源，它们发射 X 射线的能力远远超出发射可见光的能力，很多 X 射线源是中子星、星团、星系，有的还有可能是黑洞的吸积盘。(图 3-46)

至于 γ 射线，虽然在天空找到的分立 γ 射线源不多，但神秘的 γ 射线暴十分引人注目。γ 射线暴是某种天体突然发生的猛烈而短促的 γ 射线爆发，它在几秒钟释放的能量就等于银河系一年释放的能量，对其本质人们尚不很清楚。(图 3-47)

2008 年 3 月 19 日 6 时 13 分，牧夫座突然出现一颗 5.3 等新星，但天文学家马上就发现它不是新星，因为它只持续了 1 分钟。原来，这是一次发生在 75 亿光年外的 γ 射线暴。这次爆发，使它成为肉眼能看到的最远天体(过去这个纪录一直是由仙女座大星云保持的)。这次 γ 射线暴，可见光的绝对星等就达 −38.6

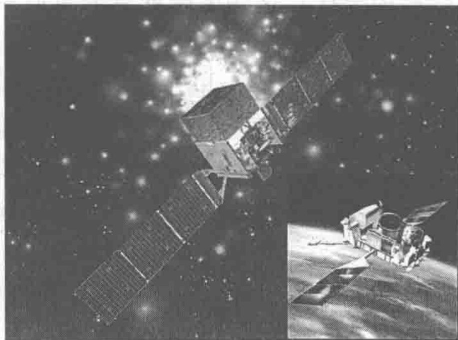
等，是宇宙中光度最大的可见光源，如果它发生在银河系内，即使它在1万光年之外，它在空中仍然将比太阳还要亮。

如今这些探测手段越来越成熟，形成了红外天文学、紫外天文学、X射线天文学、γ射线天文学等分支，因为它们都需要到空间去观测，所以统称“空间天文学”。



它被誉为“X射线领域内的哈勃”，1999年由美国宇航局发射升空。它运行在绕地球的大椭圆轨道上，最远时是地月距离的三分之一。它的观测大大加深人类对黑洞、碰撞星系和超新星遗迹的了解。“钱德拉”望远镜以印裔美籍天体物理学家钱德拉塞卡的名字来命名。

图3-46 “钱德拉”望远镜



右下角是1991年美国宇航局发射的“康普顿”γ射线太空望远镜，在近地轨道上运行。它巡天发现了271个γ射线源，记录了约2 500个γ射线暴。它以在γ射线领域做出重要贡献的美国物理学家亚瑟·康普顿（以发现“康普顿效应”而著称）的名字命名。2000年完成使命后陨落。2008年6月，美国与欧洲、日本等又联合发射了功能更为强大的“费米”γ射线太空望远镜(主图)，它以高能物理学家恩里科·费米的名字命名。

图3-47 γ射线太空望远镜

3.“波外”天文学——宇宙线、中微子、引力波等

了解天体还有其他一些探测手段，它们不太引人注意，也容易与电磁波探测搞混。它们就是捕捉宇宙线、中微子等微观粒子，以及对引力波的探测等。

宇宙线是来自宇宙高能的亚原子粒子——电子、质子、α粒子等，甚至更重的原子核，很多来自超新星爆发，也有其他来源，由于浓密的大气会使它们“变性”（转化成次级射线），此需要在高山上探测（图3-48），最好是在空间探测。

过去人们以为宇宙线是电磁波，故称之为“宇宙射线”。后来才知道它们根本不在电磁波谱中，只是画出一条线的高能带电粒子，故改称“宇宙线”，但还是常有人误将其等同于γ射线等电磁波。

中微子是一种以光速运动的不带电粒子，几乎不和任何物质发生作用，它可以穿透100光年厚的铅而损失不大。每秒钟都有几十亿个中微子穿过你的身体

而你毫无感觉，它们多数来自太阳中心。探测中微子是极其困难的，20 世纪 60 年代，美国科学家曾在地下 1 600 m 深的洞穴里用盛放四氯乙烯的巨大容器来试图“拦截”中微子（放在地下，是为了排除宇宙线等的干扰），这些密密麻麻的氯原子中，每天平均有一个会被中微子“命中”，转变成氩原子和一个电子，从而被监测到。太阳排放中微子的数量对恒星产能理论有着举足轻重的验证作用，而此装置最令人振奋的结果是发现中微子有 3 种。

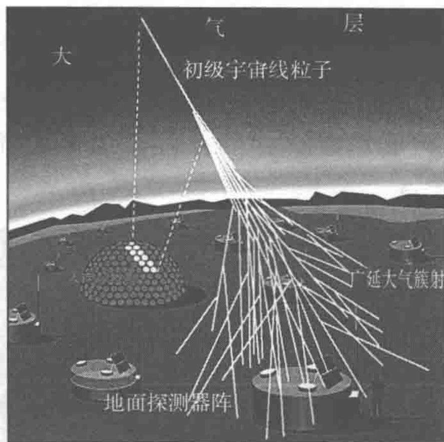
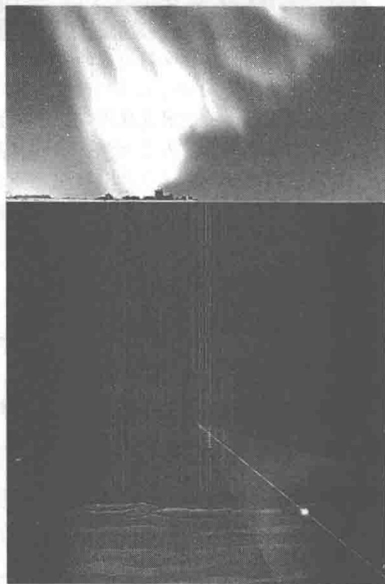


图 3-48　宇宙线及其地面探测

后来科学家觉得，用这种装置探测中微子实在是等不起，因为一天才探到一个，为探测得更多一些，科学家决定用天然的水来拦截中微子。于是在 2010 年，科学家在南极两千四百多米深的天然冰壳里排列钻出 80 个深孔，各放入一条串着 60 个探测器的电缆，每当有中微子与水中的原子发生作用时就会有闪光（切伦科夫辐射），被探测器探测到，这样每天预期可以探测到 300 个高能中微子。这个装置包含了整整 1 km^3 的冰，这是有史以来最大的天文仪器，被称作“冰立方”（图 3-49）。也有人称它为“中微子望远镜”，那么这块冰就是有史以来最大最厚的望远镜片。另外一个国际小组也在法国附近的地中海域水下埋设了类似的装置，称“安踏瑞斯”（中名“心宿二”）工程。显然，它应该叫“水立方”了。天文学家为了探测宇宙奥秘，也真可谓“上穷碧落下黄泉”了！


探测器放在冰下 1 400—2 400 m 处，再向上的冰因有气泡不能使用。
图 3-49　南极探测中微子的“冰立方”

另外，科学家还在努力探测天体发射的引力波。引力波又称引力辐射，是爱因斯坦广义相对论预言的一种特殊辐射。不过，引力辐射太微弱了，1 万亿千瓦的引力辐射，只相当于 1 kW 的热电丝，所以极难测到它的存在。20 世纪五六十年代，对脉冲双星绕转轨道的监测结果间接证明了引力波的存在。20 世纪 70 年

代初，有人宣称探测到了可能是来自太空的引力波信号，但并没有人能够成功地重复探测。目前世界上许多国家都在建造“捕捉”宇宙引力波的探测仪器，但至今尚无公认的肯定探测结果。

对天体的研究，天文学家最希望实现、最难实现的探测方法是——取样，即把天体物质直接拿在手里进行物理、化学分析。过去，陨石是天文学研究中唯一能拿到手的天体“样本”。20 世纪航天事业发展之后，人们已经可以取回月球上的岩石，还可用探测器收集星尘运回地球、挖掘行星上的土壤直接化验等（图 3-50）。这也是对太阳系内天体研究方式的重大突破。



图 3-50　2004 年 1 月 2 日，美国“星尘号”太空探测器实现与“怀尔德-2”彗星近距离“亲密”接触，成功地收集到彗星物质样品

三、新时间观·新时空观

自古以来，人们一直根据天体的运动定出年、月、日的长度，并以日为主单位向下细分为时、分和秒。所以，时间的使用、计时精度的提高与天文学的发展是密不可分的。20世纪，科学技术的发展对计时精度提出了极为苛刻的要求。拿我们最熟悉的例子来说，电力传输网为了正常运转，各联网电站的时刻精确度必须控制在1 μs（百万分之一秒）之内，而卫星导航更要求时刻精确度在20 ns（一亿分之二秒）之内。所以，天文学家与物理学家联手，在20世纪做了大量艰苦的工作来解决时间标准和计时精度问题。因此，时间精度的改进和提高是最能表现现代科学日趋复杂、精密化的一个“窗口”。读完这一节后，读者再看腕上手表嗒嗒跳动的秒针时，想必会对“时间”有了更新、更全面的认识。

20世纪对“空间”还有许多全新的认识，时间和空间密不可分，合称“时空”，其核心问题就是爱因斯坦的狭义、广义“相对论”，也将在此章叙述。

精确而标准——“秒”定义的变迁

1. 地球自转计时标准——平太阳时

从古到今，人们都是把白天黑夜的交替周期作为1“日”，向下再分出时、分、秒等（图3-51）。为了精确计量分、秒这些时间的小单位，人们发明了各种计时器，如日晷、漏壶、水钟、摆钟等。除日晷外，漏壶、水钟、摆钟都是靠某些物体运动的匀速性或周期振荡的叠加来模拟时间流逝的，总有误差，所以必须靠天文观测不断进行人为的拨正。其中摆钟是惠更斯最早发明的，他利用伽利略发现的摆的等时

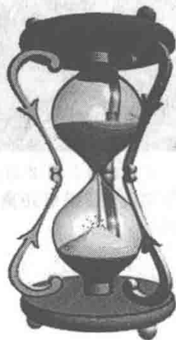


图3-51 晋代大诗人陶渊明《杂诗十二首·其一》中的四句，警示我们要珍惜时间。诗句恰好把“年、月、日、时”四字嵌入每句的第二个字，浑然天成而无雕琢痕迹

性原理，使计时精度有了巨大提高，人们终于可以精确地测定“秒”的长度了（图3-52）。

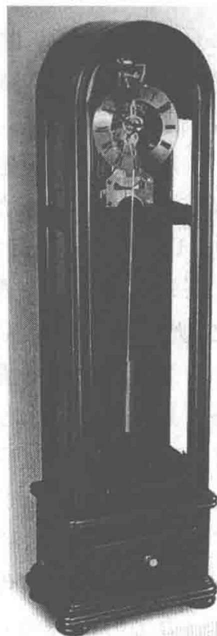


图 3-52　机械钟

这时人们才发现，一天（太阳日）的长度竟是有长有短的。用走时精确的天文摆钟测量得知，一年中如果以最短的一天为标准定出秒长，去量最长一天的话，就会多出 51 秒。难道是地球转得忽快忽慢吗？不是的，地球自转不可能有这么大的变化。科学家很快找到了原因：我们地球自转的“一天”是以太阳为标志规定的，而太阳并不是太空中的固定标志物——由于地球在绕太阳公转，我们在地球上看，太阳在星空中慢慢移动。地球的运动速度在近日点时加快，在远日点时减慢，造成太阳在星空中的视运动也忽快忽慢。结果，稳定的地球自转以一个不稳定行进的太阳为标志测算周期，一天也就变得长短不齐了。另外，太阳运动方向总是沿黄道斜行，地球自转是沿赤道方向，这也是造成日长不等的重要因素。

为了让秒长有固定标准，19 世纪末美国天文学家纽康（S. Newcomb）提出一个解决办法。他假想一个天体，以均匀速度在赤道上运行，并与太阳同时过春分点和秋分点（当然换算时还有一些中间步骤）。这个假想天体称“平太阳”，以它为标准确定的一天长度叫 1“平太阳日”，它每天的长度是非常均匀的，往下再划为时、分、秒。对比之下，过去长短不一的太阳日就叫“真太阳日”了（图 3-53）。

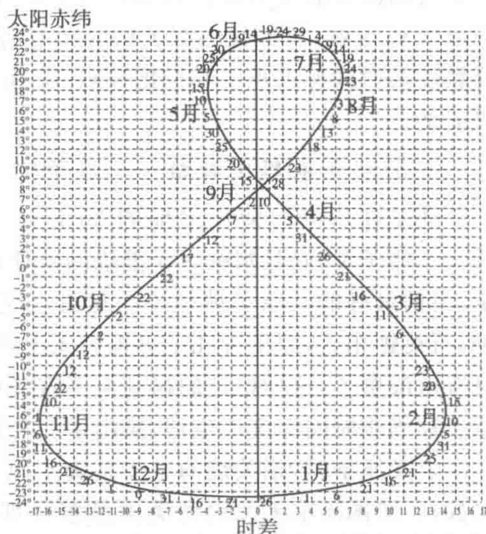


图 3-53　时差曲线——“真太阳时”与“平太阳时”的严格换算

假想的太阳怎么观测呢？不要紧，天文学家已完全掌握了地球、太阳的运行规律，“真太阳时”与“平太阳时”之间有严格的换算关系，只要观测“真太阳”就可确定平太阳时。

为了照顾世界各地人们的生活习惯，科学家规定了区时，并将 0 时区的区时规定为世界时，作为全球特殊用途的统一时间标准，特别是天文观测的时间标准。以平太阳时为基准，严格确定了秒的长度。从此，人们以为关于时间的问题一切都解决了。

2. 改用地球公转作为标准——历书时

不料到了20世纪30年代，人们发明了计时精度更高的石英钟后，天文学家发现，按石英钟观测的月亮位置与按世界时编制的月亮表总有差别。这是为什么？结合其他证据，人们发现，这是地球自转略有不均匀造成的。

原来，人们一直赖以计时的大钟——地球居然真走得忽快忽慢(后来发现还有因潮汐摩擦造成的长期减慢现象)。虽然这个变化非常小(一年有0.02 s，与可差51 s的真太阳日完全是两回事)，但已无法满足现代科学对精密时间的要求。真正靠力学定律支配的自然界的时间是均匀流逝的，它并不随着地球自转而变化，所以靠地球自转定义时间不行了。

为更精密地计量时间，科学家转向其他天文周期。他们发现，地球公转周期是极为稳定的，因此可以把地球公转轨道当作一个大钟面，重新定义时间。于是科学家选用1900年，把它一年的平太阳时长度作为出发点来制定新的时间标准——称为“历书时”。它规定：公元1900年的31 556 925.974 7分之1长度为1“历书秒”。至于1“历书日”，不是按地球自转，而是由历书秒×86 400而得到。从1960年起，天文时间系统全部改用历书时。

历书时虽均匀，但观测获得的精度很低，一般只能测到0.1 s。为得到0.05 s的精度，就要观测好多年。以至于那时发布时间非常烦琐：先发近似的时间，两、三个月后再重新发布依据天文观测的改正值。当时石英钟的精度已达到300年只差1 s，也就是说，我们有了精度相当高的守时仪器，历书时却难以给出一个同样精度的时间标准点供我们把钟对准。正因为这样，世界上没有一台钟表是走历书时的。

3. 物理学家想出新招——原子时

还是在历书时使用之前的20世纪50年代，人们又发明了一种新的计时器——原子钟，它是根据原子能级间跃迁辐射振荡的原理工作的。这种钟极为稳定，目前最好的汞原子钟理论上运行上亿年才差1 s。这么高的精度，与天文摆钟、石英钟相比，原子钟几乎可视为无误差。相比历书时的获得精度，用原子钟守时有点浪费了，这样稳定的振荡何不直接拿来为我们所用呢？科学家决定试着把原子钟当作时间标度产生器，搞出了一套新的时间系统——原子时。

定义原子时，最关键的一步是确定原子秒长(测定1历书时秒内原子的跃迁次数)。美国海军天文台和英国皇家物理实验室用铯原子钟经过5年的精密测量，得出在1个历书时秒内，铯原子跃迁次数为9 192 631 770次，经其他实验室验证无误后，1967年第13届国际计量大会决定：铯原子^{133}Cs基态的两个超精细能级间跃迁辐射振荡9 192 631 770周所持续的时间为1秒。于是，从1967年起原

子时取代了历书时，从 1958 年 1 月 1 日世界时 0 时起算。

这一下时间的定义就彻底改变了：过去的时间基本单位是日，向下再划分出时、分、秒。而新时间定义的基本单位成了“秒”，分、时、日、年则都由秒累加得出。因为这个时间是由频率叠加形成的，所以又叫“时频”。

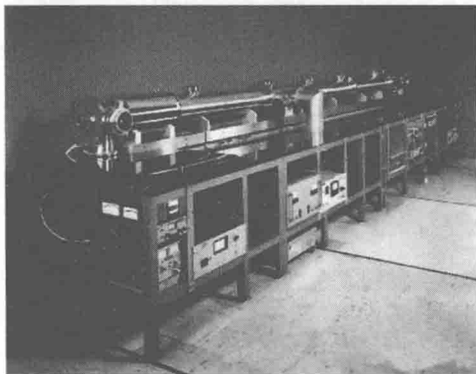


图 3-54　原子钟

原子时一出现，天文学家和物理学家就有了争论。物理学家出于科研、技术的需要，力主以原子时全面取代历书时；天文学家则反对，指出：原子钟（图 3-54）坏了怎么办？全世界的时间系统岂不立刻瘫痪？后来，原子钟越造越多，联合协作，精度更高，不可能同时都坏了，在物理学家的力争下，天文学家只好妥协，改用原子时。原子时靠全世界一百多台原子钟的运转维持，由国际时间局统一进行数据处理，然后发布。

4.“协调世界时”和麻烦的闰秒

不料人们很快发现，当初确定的原子秒长并没有测准，比历书时秒长短了一点，结果一年下来，原子时累加的一年比世界时的一年约短 1 s。怎么办？改变秒长的定义？那么一切设备、方法都要推倒重来，这将给社会造成极大的不便和浪费，不能轻易改变。于是天文学家又一次提出要废弃原子时，但没有更好的天文方法，这种走时均匀、获得容易的时间系统也是不能轻易废弃的。

经过广泛的研究和争论后，科学家们达成协议，在原子时依然作为一种基本时间系统的前提下，创造了一种既照顾社会生活需要又能满足力学定律的折中方案——“协调世界时”。方案规定：协调世界时秒长＝原子时秒长，必要时靠加秒赶上世界时的步伐。协调世界时在 1975 年第 15 届国际计量大会上得以确认，从 1972 年 1 月 1 日世界时 0 时启用。又规定：当它比世界时的步伐慢了 0.9 s 以上时，则加 1 s，称闰秒，只在 6 月 30 日或 12 月 31 日最后 1 秒操作。从 1972 年到 1999 年，“协调世界时”一共增加了 23 个闰秒。

有人会问，把原子时秒长重新精确定义，比如让它与 1967 年的世界时秒长完全相等，是不是就不用闰秒了？不是的，由于地球自转在逐渐变慢，每过十几年还是要闰 1 秒的。

奇怪的是，地球自转速度在 1999 年以后又原因不明地变快了，结果连续 6 年一个闰秒都没有。这 6 年世界时秒长竟与当年测的原子时秒长完全相等了！真

是人算不如天算，可见并不一定是当年原子秒没有测准，而是那5年像这6年一样，地球悄悄转得快些而已。有人推测，如果地球自转再加快，恐怕就要减秒（负闰秒）了，不过2005年7月国际地球自转服务组织发布公报，协调世界时在2005年底实施1个正闰秒，这是停顿7年来的第1个闰秒。随后的2009年1月1日、2012年6月30日，各迎来1个闰秒。由于闰秒按世界时0时操作，北京时间为早晨8时，也就是说，2012年6月30日的闰秒，对于北京时间已是2012年7月1日8时，多出的一秒为“7时59分60秒”（图3-55）。



图3-55　2012年6月30日世界时23时59分59 s（相当于北京时间2012年7月1日7时59分59 s）后多出1 s

2015年6月30日，也将迎来1个闰秒，有兴趣的朋友可以关注一下。

虽然有闰秒的麻烦，但现在协调世界时已经融入社会生活各个领域，轻易不能变动了，否则会导致灾难性后果，除非将来出现更好的时间系统才能取代它。天文学家认为，毫秒级脉冲星脉冲的稳定度可与原子钟媲美，未来有可能被选为新的“时间振荡器”，以至出现“脉冲时”，那样的话，时间定义就又回到宏观，全属于天文学家的事了。

新时空观——爱因斯坦相对论

爱因斯坦是20世纪最伟大的物理学家，与他的名字连在一起的是“相对论”，包括“狭义相对论”和“广义相对论”。要而言之，相对论是关于“时空”和“引力”的基本理论，它的出现给物理学带来了革命性的变化，也极大地改变了人们对宇宙和自然的“常识性”观念。

1. 一朵“乌云”引发的雷电——狭义相对论

这要先从“以太”观念说起。人们发现光是一种波的时候，因为水波、声波、地震波都是在媒介里传播，那么光在真空中任意穿行，它的传播媒介是什么呢？科学家相信空间中一定有一种物质，作为光的传播媒介，这种物质的性质非常奇特，它极轻、密度极低，地球从中穿过会毫无阻挡，也不会减速，但对于瞬间的打击力，这种物质又像钢铁一般坚硬，这样它才能传播横波的光。科学家用当年亚里士多德描述天上世界极轻物质（第五元素）的 ether 来命名它（中文译作“以太”，非常传神，显示了它的玄妙和无处不在）。按其特性，以太是绝对不动的，可作为一切运动的参考系。

1888 年，德国物理学家海因里希·赫兹(H. Hertz)用实验证实了电磁波的存在，科学界额手称庆，不是庆祝证实了电磁波的存在，而是认为这是证明了以太的存在——其实这只是间接地证明，甚至算不上是证明。但科学界几乎认定以太存在是确定无疑的，有线索就算是证明了。

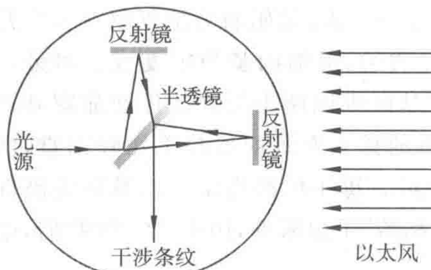


图 3-56 迈克尔孙-莫雷实验

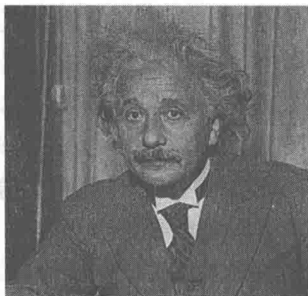
在实验证实电磁波存在的前一年，即 1887 年，美国物理学家迈克尔孙(A. Michelson)和莫雷(E. Morley)就设计了一个实验(图 3-56)，想根据一束光在不同镜子上的反射(沿着地球运动方向和垂直地球运动方向)观察干涉条纹的移动来测定在这两个方向上光速的差值，但测了很多年，也没有发现任何干涉条纹的移动。也就是说，地球以每秒30 千米的速度绕太阳运动，应该有每秒 30 千米的“以太风”迎面吹来，这必然会对此方向的光速产生影响。本来这个实验是在以太存在的前提下设计的，但实验结果却好像以太根本不存在一样。

这个令人沮丧的结果，被称作是光明的 19 世纪末物理学天空的两朵“乌云”之一(另一朵是黑体辐射困境，后来导致了量子论革命，这里不谈)。

由于从小到大的教育、生活氛围，再加上懒于思考的天性，常人的头脑里被安装好了理论构架“程序”，当实验和理论预测不一致时，人们第一怀疑的是实验，而不是理论。19 世纪末的科学家，虽然理性多了，看到实验结果无可辩驳，但仍不愿去怀疑理论，而是试图在理论构架内去寻求解释，为了不触动以太的地位，于是有人提出“静电平衡”假说、“弹道”假说。1904 年，荷兰物理学家洛伦兹(H. Lorentz)则提出物体在前进方向收缩的假说。

1905 年，爱因斯坦提出“光速不变”假设，抛弃了“以太”观念，建立了一套理论，很好地解释了迈克尔孙-莫雷实验，他的理论后来被称作“狭义相对论”。

阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein，1879—1955，图 3-57)，德裔犹太人，是与牛顿类似的一位行为怪异、特立独行的超天才。据说他 4 岁以前不会说话，使全家人非常担心他的智力迟钝问题，在他 4 岁时的某一天，突然冒出一句：“这汤太烫了。”他父母惊喜万分，问他为什么以前不说话，爱因斯坦回答道：“因为以前一切都很好啊。”——可见人是从不满意开始学会说话的。


图 3-57 爱因斯坦

那时德国的学校教育非常死板僵化，在教室里爱因斯坦是个安静且孤僻的旁观者，不会死记硬背，连空气中的声速值都记不住，所以校方认为他"智力迟钝"。如果他一直待在德国的学校，他永远也不会成为后来的爱因斯坦。幸运的是，他的父亲因缺乏经营能力、工厂倒闭而带领全家搬到了意大利。意大利自由、宽松的社会和教育环境一下子使爱因斯坦变成另外一个人，他姐姐为他仅仅在六个月内就出现的巨大变化而感到震惊："一个神经质的、退缩的梦想家变成了可爱友善、具有尖刻的幽默感的、好交际的年轻人。"从此爱因斯坦的天才迅速显露和迸发。1900 年他大学毕业并取得瑞士国籍。他的犹太血统使他找工作较困难，两年后才进入设于伯尔尼的瑞士专利局任审查员。每年他都写出一篇具有突破性质的论文，这都是他在审查专利工作之余"干私活"干出来的，历史会告诉我们，他干的是世界上"最公"的公事。

爱因斯坦 1905 年发表的论文《论动体的电动力学》虽显露了他的天才，但还是继续他不被人承认的历史——遭到了几乎所有物理学家的反对。原因很简单，有位物理学家说得很有代表性：如果相信爱因斯坦的观点正确，我必须放弃 70 年来学到的所有知识。爱因斯坦感到很震惊，那个人以自己的知识储备为理由对相对论横加指责，以前的理论并不是事物的绝对标准，它毕竟只是一种看法而已，为什么不能放弃？

当然，如果说靠实验就能推翻理论的话，那么当迈克尔孙-莫雷实验结果一出来，"以太是电磁波的传播媒介"这个假设立刻就该崩溃了。但实际上它并没有崩溃，由于假设本身就是一个完整的框架，脱离框架之外的实验数据并不会立刻被人承认。靠数据的积累去破坏原有框架是不可能的，必须提出一个全新的框架来与之抗衡。这就是爱因斯坦的工作。

他的狭义相对论建立在两个假设之上：①物理规律在所有惯性系中都是相同的；②在所有的惯性系中，光在真空中的传播速度中具有相同的值。

其中①是伽利略时代就有的，是经典力学原有的假设；②是爱因斯坦自己提出的，这个假设认为光的速度是恒定的，不管发光物体有没有运动，向哪个方向运动。这是在光的传播上对经典力学速度合成法则的颠覆性假设。

狭义相对论得出的最著名的结论就是"钟慢尺缩"效应（图 3-58），

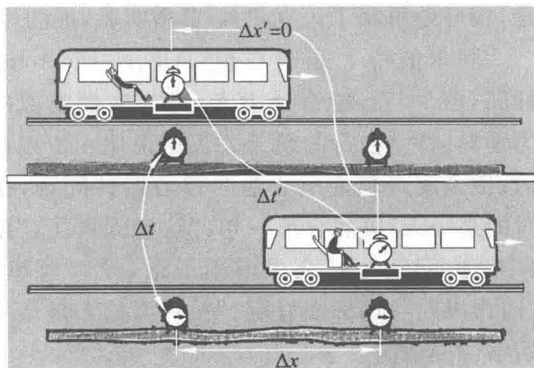


图 3-58　狭义相对论的时钟减慢效应

即两个相对运动的惯性系(指匀速直线运动)中,会测到对方的时间变慢、沿运动方向的尺子缩短。举例来说,当一艘宇宙飞船以25.5万千米/秒的速度掠过地球时,我们会测到飞船上沿运动方向的1 m长的尺子只有0.5 m长,我们的1 s时间内飞船上只过去0.5 s;如果飞船速度达到29.9万千米/秒,飞船上的1 m只有我们的$\frac{1}{38}$ m长,而飞船上过1 s,我们已经过去38 s了。

这里要注意的是,是不是飞船上钟真的慢了,尺真的缩了?不是,这仅是在地球上的一种测量效应,在飞船上测地球,也会有同样的结果,所以叫"相对论"。这是在"光速不变"的前提下计算得出的,否则又成了洛伦兹"沿前进方向收缩"的假说了。洛伦兹提出"洛伦兹变换",几乎就要接近相对论了,但他不敢放弃以太,更不敢假设光速不变,只是试图修补旧理论,此处能自圆其说了,但补不上其他漏洞。

后来由于物理学的许多新发现、新证据,爱因斯坦的狭义相对论得到越来越多的人承认,爱因斯坦也从一个名不见经传的小人物变成国际物理学大会合影时坐在前排的人物。

2. 爱因斯坦个人的天才创造——广义相对论

狭义相对论是时代的产物,很大程度上是应物理学天空中那朵"乌云"的呼唤而生的。如果没有爱因斯坦,很快别人也会得出狭义相对论,但广义相对论不是这样。

狭义相对论提出后的10年间,人们从质疑,到解释、验证,反对的人逐渐少了下来。但是,人们没有想到,爱因斯坦对自己的理论质疑得比谁都厉害,他10年来都在想:相对论建立在惯性系的运动之上,可是(狭义)相对论否定了绝对空间,哪儿还有真正的惯性系呢?他决定,把狭义相对论的第一条假设也改了,由"物理规律在一切惯性系中都相同"推广为"物理规律在一切参考系(包括非惯性系)中都相同"。改造后的原理称"广义相对性原理"。

我们知道,惯性系做匀速直线运动,不受任何力的作用;非惯性系就如同我们乘车时的启动、刹车、拐弯那样,不断受到力的作用。这些力怎么描述呢?爱因斯坦受到马赫思想的启示。马赫(E. Mach)曾提出马赫原理:惯性起源于全宇宙所有物质产生的万有引力的综合效应。爱因斯坦按照这个原理,提出"引力与加速度产生的力等价"假设,即"等效原理"(图3-59)。

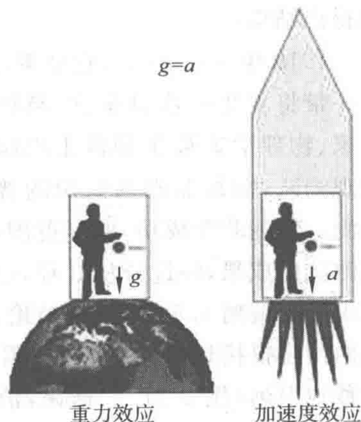


图3-59　等效原理

1915年,爱因斯坦根据广义相对性原理、马赫原理和等效原理,以黎曼几何

和张量分析为数学工具，创立了广义相对论。这年11月，他一连向普鲁士科学院提交了4篇论文，宣告“广义相对论作为一种逻辑结构终于完成了”。

论文一发表，他的同事、朋友都为他捏一把汗，前面反对的浪潮刚刚平息，怎么又搞出这么离经叛道的东西来自找麻烦？但爱因斯坦不怕，他就喜欢离经叛道，他有句名言：“如果我们知道自己在做什么，那就不叫研究了。”

果然，又一轮反对浪潮迭起，很多人责怪爱因斯坦走得太偏了，要让传统的物理学家都没饭吃。在爱因斯坦的眼里，引力成了空间的一种畸变（图3-60），推而广之，时间也是一种幻觉，物质也是空间的一种浓缩变形，天体、山脉、河流、大厦，都是某种形式的超空间褶皱。这怎么让人受得了？

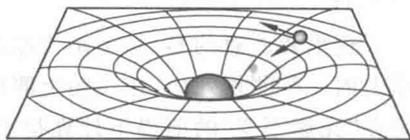


图3-60　星体引力造成周围空间弯曲

怎么说服别人呢？广义相对论的效应相当微弱，那时在实验室里是无法检测的，爱因斯坦提出了三个天文观测实验：①引力红移；②引力使光线偏折；③水星近日点进动。这里只谈一下第2个实验验证。

爱因斯坦预言，当恒星的光从太阳表面掠过时，太阳的巨大引力会使光线有一个小小的偏离。他计算出星光在掠过太阳表面时所产生的偏折角度为1.75角秒。

怎么用观测来证实呢？太阳耀眼的光芒使人们不可能观测到太阳旁边的星星，只有等日全食的时候拍下太阳周边的恒星，再与太阳不在时同一星空的照片比较，才能确定星光是不是真有偏折。就全世界来说，大约每三年就有两次日全食，应该有很多的机会观测验证，但由于阴天、地域等原因，好几次日全食观测也没得出结果。

1919年5月29日，在南美、大西洋、中非一带将发生一次日全食，英国著名天文学家、物理学家爱丁顿爵士组织了一支日食观测队，前往非洲西海岸的普林西比岛观测。观测非常成功，回到英国，结合其他观测队的成果，经过分析处理，爱丁顿最后得出星光偏离1.64角秒的结论，与爱因斯坦的预言很接近，离牛顿理论预言的0.87角秒则很远（图3-61）。据说，消息传到爱因斯坦那里，他对这一结果出奇冷静，说：“我从来没有想过会是别的结果。”

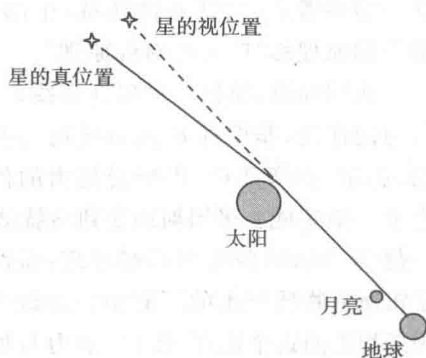


图3-61　太阳引力使光线偏折示意图

11 月 7 日,《泰晤士报》刊出头版头条新闻,其标题耸人听闻:《科学革命:牛顿的思想被推翻》。这一年成了爱因斯坦的又一个"奇迹年",过去爱因斯坦一直是个普通的年轻物理学家,名声基本限于科学界,而且还是个"有争议的人物",但这次日食观测使他在公众间声名鹊起,成为家喻户晓的名人,也奠定了他大科学家的地位。据说那时粉丝给爱因斯坦写信,不写地址,光在信封上写"阿尔伯特·爱因斯坦收"就能送到。

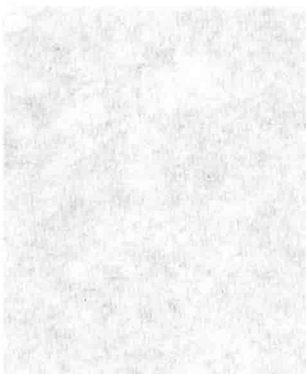
由于其具有的划时代意义,这次观测成为科学史上最著名的一次日全食观测。

1921 年爱因斯坦在世界各地游历访学,在上海时接到电报通知:由于他对光电效应定律和"其他理论物理方面"的贡献,被授予 1921 年诺贝尔物理学奖。由于相对论仍是大家争论的焦点,授奖决议中没有专提相对论。

1955 年爱因斯坦去世后,在瑞士日内瓦召开的和平利用原子能国际会议,将 1952 年发现的 99 号元素命名为 einsteinium,以纪念这位伟人。简体中文译作"锿",而繁体中文则译作"鑀",似乎更顺眼一些。

爱因斯坦创立的广义相对论,本质上是一种比牛顿的引力理论更普遍的引力理论,提出了全新的时空观念,成为现代宇宙学说的理论基础,所以它不仅是物理学史上也是天文学史上的重要里程碑。

现在,物理学天空就没有乌云了吗?仍然有,物理学家称,现在悬浮在物理天穹之上的乌云多达四朵:暗物质、类星体的超高能量、寻找自由夸克、超引力和超对称。它们对未来物理学的意义是什么?会产生什么样的革命结果?这就是读者朋友未来的工作了。



四、向宇宙纵深开拓



20世纪，随着科学技术的加速发展，天文探测手段、方式的多样化，各种新发现纷至沓来，简直令人目不暇接，详细说起恐会滔滔不尽，不知要写成几本书。总之，人类如今无论对太阳系、恒星还是遥远的河外深空天体，都有了越来越精深的了解——也生出了更多的疑问。疑问更多是自然的，因为知识之海愈广，怀疑之岸愈长。本章尽量用简短的篇幅把20世纪的天文学重要成就介绍给朋友们，特别指出那些尚未解决或尚未完全解决的问题，它们可能正是天文学在未来时代的魅力所在。

从太阳系到深空天体

1. 冥王星的发现

1846年海王星被找到后，人们很快发现海王星运行也有预测外的偏差，这说明，海王星外应该还有未知行星对海王星进行"牵拉"。基于这种假设，许多数理学家做了大量推算，推测出"海外行星"的种种位置，但是这颗神秘行星就是不露面。美国天文学家洛威尔曾专门建天文台寻找火星人，他对寻找"海外行星"也非常入迷，多年依据推算位置辛勤观测，可直到他1916年去世时仍未找到。

洛威尔去世后，寻找"海外行星"的工作稍为松懈下来，直到1929年洛威尔天文台雇到一位勤奋的农家子弟汤博(C. Tombaugh，公元1906－1997，图3-62)负责担任这项搜寻工作。经过一年的熬夜，他拍摄了2/3的天空，花了数千小时检查了上百万颗天体的图像。1930年2月，他终于在离预言"海外行星"位置仅5°的天区发现一颗亮度约16等的天体，它慢慢移动，很像一颗小行星，但接连观测50天后，它的速度仍然不变，经计算轨道，发现它在海王星轨道之外，绕太阳



图3-62　汤博

一周需 248 年，这无疑是大家盼望已久的"海外行星"。从此，第 9 颗大行星宣告发现，被命名为冥王星(图 3-63)。

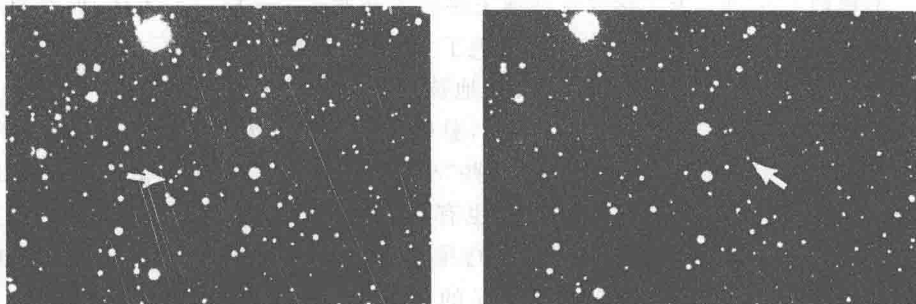


图 3-63　汤博发现冥王星的两张照片，从中可看出冥王星的移动(据说美国威尔逊天文台在 1909 年也大力搜索过这颗行星，冥王星被别人发现后，他们检查旧照片时，发现当时拍的冥王星图像正好落在照片乳胶的小裂缝中，错失了发现的机会)

汤博这位年方 24 岁的农家子弟一举成名。不过他这是在美国，没有像赫歇尔那样被英王召见、被封为皇室天文学家的幸运，只是他家乡的堪萨斯大学赠了他一笔奖学金，让他有了上大学进修的机会。1997 年，汤博以 91 岁的高龄去世。

开始人们以为冥王星的质量较大，至少是地球的若干倍。后来才逐步了解它的质量很小，1978 年发现冥王星的卫星(最近又发现了 4 颗卫星，图 3-64)后，终于精确测出冥王星的质量只有地球的 0.24%，直径为 2 274 km，比月亮还小。这样看来，海王星运行的偏差根本不是冥王星摄动导致的。所以，冥王星在预言的位置被发现是一种巧合。



图 3-64　冥王星和它的卫星

经过七十多年的观测、研究，人们发现冥王星越来越像大行星中的"另类"，它不但既小又轻，而且轨道奇特，有时候运行得比海王星离太阳更近(从 1979 年到 1999 年)，轨道倾角达 17°(21 世纪 80 年代，它将在黄道十二宫外的鲸鱼座"游荡")。

在当时的"九大行星"中，冥王星是唯一没有用探测器近距离观测的，2006 年 1 月 17 日，冥王星探测器"新地平线号"发射升空。按计划，它将在 2015 年 7 月到达冥王星。不过从 2006 年 8 月开始，冥王星就已经不是"大行星"了。

2. 奇特的柯伊伯带天体

冥王星之所以不是"大行星"了，是因为近十几年的一系列新发现，使冥王星的大行星地位变得越来越不稳固。1951 年，美国天文学家柯伊伯(G. Kuiper)突发奇想，认为在海王星轨道外应有大量以冰雪为主要成分的小天体存在，它们仿

佛一群巨大的彗核，在远远地围绕太阳运转。这种说法因为与当时流行的太阳系天体观念相去甚远，因此无人理会。

不料到 1992 年，天文学家真在海王星轨道外发现了这样一个天体，而且直径达 200 km 左右，接下来的两年内又发现了 10 个这样的天体。随后的 20 年，像当年发现小行星一样，这类天体大把大把地被天文学家的望远镜捕获，共被发现了一千多颗，据推测其总数可能有几万颗，总质量远远超过火星与木星之间的小行星总质量。由于柯伊伯的先见之明，这些“小行星”被称为“柯伊伯带天体”。它们的直径大都在 100 km 以上(小的肯定也有，但因距离遥远难以发现)，1997 年发现的一颗，直径有 900 km，与最大的小行星——谷神星相仿；2002 年 10 月发现的“夸欧尔”，直径为 1 250 km，超过冥王星的一半。在这些发现的背景下再回头去看冥王星，冥王星无论按轨道标准还是大小标准，都应该是“柯伊伯带天体”的一员，是一颗大的“柯伊伯带天体”。

那么，会不会有更大的“柯伊伯带天体”呢？很快就等来了这一天。2005 年 7 月，美国加州理工学院天文学家布朗检查帕洛玛山上的望远镜拍摄的 2003 年的照片，发现了一颗柯伊伯带天体，定临时编号为 2003UB313，临时名为“齐娜”。经多次测定，其直径的下限为 2 400 千米，已经超过了冥王星，它到太阳的平均距离约为冥王星的 3 倍。这颗行星的发现轰动一时，被称作是发现了太阳系“第十大行星”。

但天文学家却更感到为难了，如果这颗天体被定为“第十大行星”，那么再发现类似大小的天体时，就会出现“第十一”“第十二”……许多充数的大行星，这无论从常识上还是从学术上看都不合情理。所以，许多天文学家认为应该把冥王星从大行星行列“开除”出去，完全归于“柯伊伯带天体”，恢复 19 世纪的“八大行星”叫法，这样一切就名副其实了。(图 3-65)

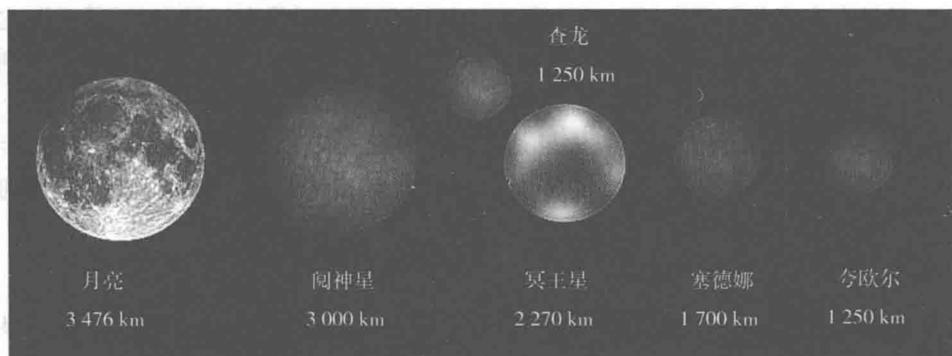


图 3-65　几个大的柯伊伯带天体与月球的比较(偶然事件改变历史！如果冥王星是在今天而不是在 1930 年被发现，哪还会有七十多年的“九大行星”历史？)

2006 年 8 月，在捷克首都布拉格召开了第 26 届国际天文学联合会大会，“重新定义行星”“冥王星降格”成为大会中最引人注意的亮点。经过一周与争吵相差无几的讨论、辩论，24 日，经过两千五百多名天文学家的集体表决，通过了新的“行星”定义。按新的定义，冥王星没有能力清除（吸附）其运行轨道上的其他天体，导致了那么一大堆“柯伊伯带天体”，因此它不算“行星”，属于“矮行星”。而且天文学家还给冥王星分配了一个小行星序列号：134340。可怜一代冥王，连一个特别整的序列号（如 130000）也没捞着。

后来 2003UB313 被正式命名为“厄里斯”（Eris）。在古希腊神话中，厄里斯女神是“纷争女神”，她曾挑起了特洛伊战争；在今天，这颗星让科学家围绕行星定义争论不休，最后导致冥王星被“开除”出行星行列，所以这颗星被称作“厄里斯”是最恰如其分的了。按惯例，我们将其译为“阋神星”（图 3-66）。



图 3-66　这是国外的一幅漫画，表现柯伊伯带天体 2003UB313（阋神星）引发的麻烦，其中男士插上的牌子写的是“第十大行星”，女士手持的牌子是“小行星”

从此，“大行星”的提法也废止了。

近年来，在木星和海王星轨道间又发现 50 多个小天体，不能肯定是彗星还是小行星，因身份不定，被称作是“半人马”天体。

3. 揭开彗星身世的面纱

彗星是从哪里来的？1950 年，荷兰的奥尔特（J. Oort）提出彗星起源的“原云假说”。这个假说认为，在太阳系周围 2 万至 15 万天文单位的范围内，弥漫着一个“彗星原云”，内有上千亿个彗核，绕太阳做平均周期上百万年的运动。可能由于其他恒星摄动，也可能是概率因素，有极少彗核进入火星、地球轨道以内，在太阳光热影响下生出彗发和彗尾，被我们发现。这些彗星受木星等行星的引力影响，有的成为短周期彗星，也有的被抛出太阳系。


图 3-67　海尔-波普彗星（迄今历史上看到的人数最多的一颗彗星，1996 至 1997 的整整两年间有几十亿人被它的光辉深深吸引。它的肉眼可见时间持续了 18 个月，是 300 年以来所没有的）

到现在为止，人们观测到的彗星只有 1 600 颗左右，那奥尔特是怎么推测存在着上千亿个彗星的呢？（图 3-67）

原来,这是一个很典型的科学分析方法,下面我们就按一种简化整齐的数据来模仿一下这个分析过程:

在那时,每年平均有10颗彗星被发现,其中6颗是新发现的,4颗是过去已经发现又回归的;新发现的6颗中,有3颗是长周期彗星,平均周期是4万年,远日点平均在1 200天文单位处,如果每年都这么发现的话,很容易算出这类彗星的总数:3×4万=12万颗。注意,人们发现的彗星的近日点平均都是在2个天文单位以内,太远的就很难看到了。按当时的数据统计,近日距不超过2个天文单位的彗星约发现了1 000颗——假如彗星的运动速度、方向对太阳来说都是任意分布的,按此成比例外推,在海王星轨道内,应有170万颗彗星;1 200天文单位以内(相当于周期4万年),会有10亿颗彗星;15万天文单位以内(再远就进入其他恒星领域了),则有1 000亿颗彗星。

这就是奥尔特"原云假说"的数据来历。

按这个假说,每年进入海王星轨道以内的彗星会有百万颗,但现在天文学家和天文爱好者每年只能发现几十颗彗星。这是因为近日点远于火星的彗星太难发现了:它们基本没有彗尾,彗发有的话也极为暗淡,按目前的观测手段,这种在太空中孤零零运行的彗核很难被看到。看来需要发明新的观测方法,彗星才会被大批地发现。

现在又有人提出,短周期彗星可能另有起源,它们全部来自柯伊伯带。

不过,遥远的彗星虽然尚探测不到,天文学家却无意中找到一种方法,发现了一大批极端接近太阳的小彗星,这就是"SOHO彗星"(图3-68)。SOHO本是欧洲太空总署和美国航空航天局1995年为观测太阳大气而联合发射的"空间天文台"的缩写。1999年8月1日,澳大利亚的天文爱好者在SOHO卫星的网站图片中,发现了被遮黑的太阳圆轮周围有两颗小彗星的影像,后来人们在这种照片里又发现了许多类似的彗星,从此开创了一个以互联网为媒介发现彗星的新领域。这些彗星统称"SOHO彗星",据称,它们大多属于"克鲁兹"彗星族,可能是数百年前一颗掠日大彗星分裂后的碎片。它们大都或撞入太阳,或在太阳大气中就蒸发殆尽。许多天文爱好者都加入到发现SOHO彗星的行列,到2013年8月已发现了2 574颗SOHO彗星。



图3-68 SOHO彗星

4. **太阳、恒星与太阳系外行星研究**

20世纪对太阳的研究也在向纵深发展。海尔于1891年发明太阳单色光照

相仪后，1925 年又发明了太阳分光镜，1931 年法国的李奥发明了日冕仪，这些发明产生了一大批对太阳大气的研究成果。20 世纪 70 年代已经有了可信的太阳黑子成因理论。

关于银河系的恒星，20 世纪 40 年代初德国人巴德(W. Baade，公元 1893－1960，图 3-69)提出了“星族”的概念。当时他在威尔逊天文台工作，多数人都服务于战争去了，他由于没有美国国籍，只好留在山上，那时洛杉矶实行灯火管制，观测条件极好。通过观测和分析，他认为恒星可以分为星族 I(新一代的年轻星，多在银盘)、星族 II(年老的星，多在银河系中心、球状星团中)两类。这种分法大大深化了人们对恒星的了解，对恒星演化等研究很有帮助。



图 3-69　德国天文学家沃尔特・巴德

历史上很多天文学家都相信太阳系外存在着绕其他恒星运行的行星，也多次有人声称发现了“系外行星”，但都没被最后证实。直到 1994 年，波兰天文学家沃尔兹森(A. Wolszczan)和弗雷(D. Frail)宣布发现了一颗围绕脉冲星转动的行星，被其他天文观测者迅速确认，成了历史上首次发现系外行星的事件。随后，许多系外行星被发现。发现系外行星的方法有脉冲星计时法、测量法、多普勒视向速度法、凌日法、微引力透镜法、直接成像法等。2009 年发射的开普勒空间望远镜，主要用途就是寻找系外行星，已确认了 132 颗，还有 2 740 颗待确认。2013 年因为陀螺仪失灵停止工作，因为它在绕日轨道运行，无法修复。

开始发现的行星多数是木星级的大行星，因为它们的引力和体积都比较大，容易被发现，但随着观测手段的改进，从 2004 年起地球级的类地行星也开始被发现，因为系外类地行星的发现可以引申到它们是否存在生命问题，为寻找地外生命提供了目标，所以非常受重视。截至 2014 年 3 月，已发现了 1 078 颗系外行星。天文学家推测，可能不少于 10％类似太阳的恒星都有行星。

特别吸引天文学家眼球的是，系外很多“类木行星”离它们的中心恒星很近，且经常以很扁的椭圆轨道运行，与太阳系中的木星、土星完全不一样。这么多千姿百态的“太阳系”，是对现有的太阳系演化理论的重大挑战。

5. 白矮星的研究与中子星的发现

随着物理学、天体演化学的发展，20 世纪天文学对致密星有了深刻的认识。

当发现白矮星质量与太阳相当、直径却与地球相仿时，科学家就一直为白矮

星超常的密度所困惑(如 1 cm^3 天狼伴星的物质就重达 1 t)。20 世纪 20 年代,人们已经知道,恒星是靠热核反应产生的辐射压力来抗衡引力坍缩的,按说白矮星是晚年的恒星,已停止了核反应,巨大的引力应该使恒星一直坍缩下去,那白矮星是靠什么阻止了引力坍缩的呢?人们发现,白矮星的存在靠的是简并电子压力。打一个通俗的比喻:恒星坍缩时,原子互相挤压,原子核之间充塞着密密麻麻的电子,靠这些电子互相排斥支撑,原子核才保持不被合并。白矮星质量越大,电子支撑起来就越艰难,于是星体半径就缩得越小。

1935 年,在印度出生的美国天文学家钱德拉塞卡(L. Chandrasekhar)求出白矮星质量最大是太阳的 1.44 倍,超过这个数值时电子"支架"被压垮,简并电子压力失效,星体将继续坍缩。

如果真是这种情况的话,星体会坍缩成什么?1932 年中子被发现后,苏联物理学家朗道(L. Landau)预言:超过太阳质量 1.44 倍的恒星停止核反应坍缩时,电子会挤进原子核,与质子合并成中子,算上原子核里原有的中子,整个星体仿佛一个主要由中子组成的大原子核,靠中子的简并压力与引力抗衡。这种致密天体称"中子星"。据奥本海默(J. Oppenheimer)等人的计算,中子星半径仅 10 km 左右,也就是说其"个头"与珠穆朗玛峰差不多。

白矮星是先观测到然后研究的,而中子星是根据理论先预言的。那么,上哪儿去找、怎么去找这么微小而暗淡的恒星呢?谁也不知道。

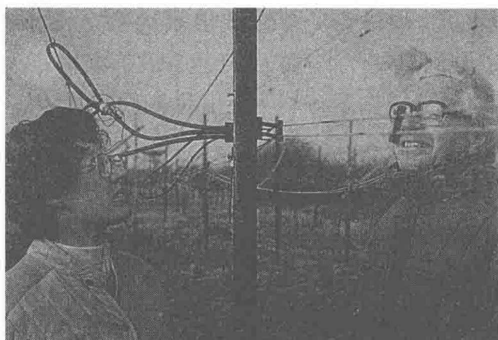
1967 年,在英国的穆拉射电天文台,女研究生乔瑟琳·贝尔(J. Bell Burnell,图 3-70、图 3-71)在导师安东尼·休伊什(A. Hewish,图 3-71)的带领下,研究"行星际闪烁"方面的射电信号。休伊什为他的射电望远镜设计了一套由 2 048 根天线组成的天线阵。这台射电望远镜非常与众不同,因为过去的射电望远镜只关注记录天体某瞬间的射电信号(好比是"照相机"),而他的设备可以连续记录变化较快的射电信号(相当于"摄像机")。8 月,贝尔用这套装置发现位于狐狸座的一个微弱射电源有一种出乎意料的快速变化。贝尔查找了高速记录器记录下的几千米记录纸带,11 月 28 日,她终于分析出这个射电源发射的是固定的射电脉冲,脉冲极有规律,每隔 1.337 288 s 出现一个,像有人操纵一般。



图 3-70　2006 年 4 月 15 日乔瑟琳·贝尔访问北京古观象台时与笔者(左一)等人的合影

他们非常振奋,认为这可能是外星人向我们发出的信号,所以给此射电源起

名“小绿人”(他们推测这些外星人身材矮小,靠光合作用维持生命,因此皮肤可能是绿色的)。但一个月后,贝尔就发现了第2个类似的脉冲信号,很快第3个、第4个脉冲信号也被发现了。这说明,这些脉冲是天体现象,因为天上不可能有这么多“小绿人”同时向我们发信号。休伊什高瞻远瞩,意识到这个发现仍然可能有巨大价值,很快就与贝尔联名在英国《自然》杂志上公布了这一发现。后来,这类新型天体被正式命名为“脉冲星”。


图 3-71 贝尔和休伊什

同样是做出了发现脉冲星的贡献,由于多种原因,休伊什独自获得了1974年诺贝尔物理学奖,而贝尔没有获奖。但美国富兰克林学院早在一年前就把一项大奖同时授予贝尔和休伊什两人了。1980年在德国召开的国际脉冲星学术会议上,代表们公认贝尔和休伊什同是脉冲星的发现者。时隔几十年回头看,贝尔没有获奖胜似获奖,因为每一本讲述天文学史的书都要替贝尔鸣冤一番,反使她成为现代天文学史上最引人注目的人物之一。

这些射电源为什么像一台台“宇宙时钟”那样精确地走动呢?科学家排除了可能导致脉冲的几种情况:脉冲不可能是双星绕转造成(无法想象1 s周期的双星绕转),也不可能来自恒星脉动(假如白矮星脉动的话,也不会这么快),看来设想这种脉冲信号来自星体的自转更为合理。科学家又分析,自转发出这么短促脉冲的星体半径只能是10 km左右,恰好与当年朗道预测的中子星半径完全吻合。后来,其他证据也都说明,这些脉冲星应该就是中子星。这样,三十多年前预言的中子星,竟无意中被发现了。(图 3-72)

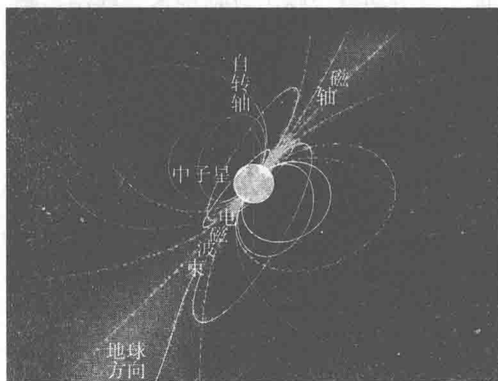


图 3-72 脉冲产生的机制——“灯塔”效应

中子星磁场的磁轴与自转轴通常不平行,有的夹角甚至达到90°,而电磁波只能从磁极的位置发射出来,形成一个圆锥形的光束,当光束的方向恰好扫过地球的时候,地球上的人们就观察到了急促而有规律的脉冲信号,这就是脉冲星。

多年以后,一位不愿透露姓名的射电天文学家告诉贝尔说,在休伊什和贝尔发现第一颗脉冲星之前,他曾观测到猎户座发出的这种脉冲信号(现在所知这个位置恰好有一颗脉冲星)。当时,他的自动记录仪指针以均匀的节奏颤动着,他以为仪器出

了故障，于是做了一个他一生中最愚蠢的动作：冲仪器踹了两脚，使颤动消失。

6.“陷光星”——黑洞

如果物质结构以基本粒子为尽头的话，那么下一种也是最后一种致密天体就是黑洞。据理论分析，当坍缩星的质量超过“奥本海默”极限（2—3个太阳质量）时，中子的简并压力也将无法与引力坍缩抗衡，恒星会向中心点无限坍缩下去。这样，以该点为中心的一个球形空间内，引力会大到连光也逃不出来，任何物质都只能进不能出。开始人们把它叫作“陷光星”，1969年，美国科学家约翰·惠勒(J. Wheeler)给这个球体起个形象的名字“黑洞”，更为贴切。20世纪70年代，英国伟大的物理学家史蒂芬·霍金(S. Hawking，生于1942年)提出黑洞辐射理论，为理论物理学做出了重大贡献。

天体一旦形成黑洞，就几乎抹掉了它的一切历史记录，它又不发射任何光线，因此探测起来极为困难，只能间接判断它的存在，比如靠引力透镜效应、它吞食伴星气体旋成的气盘产生的X射线等。著名X射线源“天鹅座X-1”是双星，其主星是超巨星，而伴星质量大于6个太阳，看不见，气盘又发射X射线，所以天文学家推测它很可能是黑洞。霍金说，天鹅座X-1有95%的把握是黑洞(图3-73)。

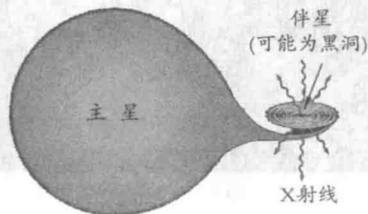


图3-73 天鹅X-1，其伴星基本肯定是黑洞

法国天文学家拉普拉斯也早就预言过黑洞这类看不见的天体的存在。他在《宇宙体系论》中说：如果一颗恒星密度与地球相等，直径是太阳的250倍，按牛顿力学，其表面逃逸速度会超过光速，所以宇宙中最大的天体是看不到的。这个尺度与后来根据广义相对论导出的“史瓦西半径”完全相同（当然，拉普拉斯尚不知这样的星体会无限坍缩下去，图3-74）。不过，拉普拉斯在该书的第三版中又把这个奇特的设想删掉了。看来，天才人物一旦名声太响时，常会对自己的天才狂想感到不好意思。



图3-74 印度裔理论物理学家钱德拉塞卡

“恒星可能会坍缩成为一个点”的想法，是钱德拉塞卡最早提出的，但遭到了爱因斯坦、他的老师爱丁顿等人的强烈反对，在学术报告会上就被爱丁顿当场封杀。同样，1973年霍金在学术大会上提出黑洞辐射的设想时，主持人声称：“霍金先生讲得非常精彩，当然，全是胡说八道。”

有人提出，根据现在已知宇宙的质量和大小，它恰好等于宇宙的史瓦西半径，故宇宙本身就是一个黑洞。

目前组成基本粒子的更小粒子——夸克的存在基本已被证实。呼之欲出的理论是：比中子星质量更大一些的恒星坍缩下去，应该是“夸克星”，再大质量的才可能是黑洞。

7.“魁耍”——类星体

用望远镜观察天空，除了行星、彗星、星云、星系外，到处都是无数的光点，这些光点一直都很自然地被看作恒星。但从 20 世纪 60 年代开始，天文学家发现有些暗淡的星点与恒星有重大区别。

经过是这样的：当时射电天文学兴起，已经发现了大量射电源，用观测月掩等办法，人们发现有的射电源是点状的，称为“致密射电源”。于是天文学家努力根据射电源的位置寻找其光学对应天体。1960 年，美国天文学家马修斯(T. Matthews)和桑德奇(A. Sandage)用望远镜在三角座射电源 3C48 的位置果然找到了一颗 16 等的恒星。能测到恒星的射电在当时是很罕见的事，因此人们称这颗星为“射电星”，只是光谱分析表明这颗星有些莫名其妙的谱线，让人心存疑虑。1963 年，射电源 3C273,图 3-75)也被证认为是一颗 13 等恒星，光谱同样令人莫名其妙。

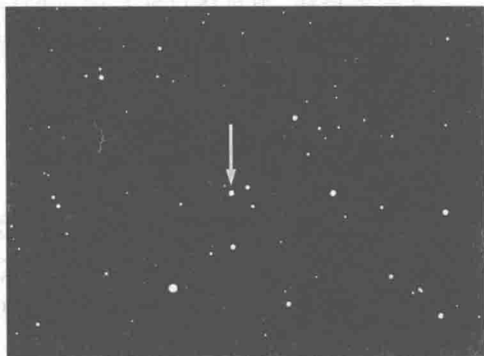


图 3-75　室女座 3C273，最亮的类星体（13 等），也是最早发现的类星体之一

随后旅美荷兰天文学家马丁·施密特(M. Schmidt)用帕洛玛天文台的 5 m 望远镜仔细研究发现，这些光谱就是普通元素产生的谱线，是从紫外区移入可见光区的，红移值 0.158。这个结果使他非常吃惊，回头再分析 3C48 的奇怪谱线，发现它原来也是红移造成，红移量竟达 0.367。要知道，银河系内的恒星红移都在 0.002 以下，较远的星系红移也不过 0.1，如果红移是多普勒效应造成的，且哈勃宇宙学红移规律(指哈勃总结的“星系离我们越远，红移越大”的规律)成立，那么这类“恒星”就一定离我们极远，当在 10 亿光年之外，它们不可能是恒星。于是天文学家称这类新天体为“类星射电源”。

天上的光点居然不都是恒星，这对天文学家的震动极大。于是他们开始直接在大量暗淡“恒星”的光谱中去寻找这些异类，很快就找到一大批(过去人们对它们的奇异光谱没有留心，可见“发现”需要有“准备发现”的头脑)。它们除了都有巨大红移外，少数有对应射电源，但 90％的星体没有射电。没有射电的这种星体

因颜色偏蓝，称“蓝星体”。类星射电源和蓝星体统称“类星体”。英文为 quasar，港台译作“魁霎”，很传神。

如果现代宇宙学观点成立的话，类星体应该是距离我们最远的天体，通常它们的红移远远大于星系。随着类星体的陆续被发现，最大红移值不断被突破。1987 年发现的一颗类星体红移达 4.43，1999 年又找到红移为 5 的类星体，2003 年发现的类星体红移高达 6.42，距离我们超过 125 亿光年，2006 年 2 月，人们观测到的最远类星体远达 128.2 亿光年。不过目前人们观测到的最远天体是哈勃望远镜 2010 年发现的一个星系，红移值 10.3，远达 132 亿光年，可能诞生于大爆炸后 4.8 亿年。

如果类星体真这么远的话，它的光度一定极大，其能量来源、与星系的关系等都还是个谜。曾有证据表明，类星体就是处于剧烈活动状态的星系核，也有些天文学家猜测，类星体可能是遥远的巨椭圆星系或塞佛特星系。更有人提出，类星体是质量超过 10 亿倍太阳的超大质量黑洞，它的吸积盘被黑洞引力加速，以近光速旋转，摩擦发出强光。

从云雾状天体到河外星系

望远镜、光谱分析法、照相术的发明使天文学家的视野急剧扩大，从 19 世纪开始，人们谈论的宇宙已不是太阳系，而是银河系以及银河系以外了。

天体离我们越远，信息也就越少，不确定的因素也越多，研究起来也就越困难。讲述这个经历，不可避免地要提到一些研究方法、用一些专业术语，可能略显枯燥，但你只要耐心读下去，就会感觉仿佛与先贤一起，步入忽而“山重水复”忽而“柳暗花明”的美妙境界，感受到科学事业真正的魅力。

1. 银河系的中心在哪里？

1785 年，威廉·赫歇尔“数星星”之后，画出了银河系的结构图，图中他把太阳放在银河系的中心。他的理由是，既然银河系是扁扁的铁饼状，如果太阳偏在一侧时，银河的中心方向就会比另一方向亮许多许多倍，而实际银河的宽、窄、亮、暗没有很大的差别，所以太阳应在银河系的中心。由于赫歇尔的巨大声望，直到 20 世纪初，人们仍相信这种“太阳银心说”。

勤奋而聪明的美国天文学家夏普利（H. Shapley，公元 1885－1972）却不愿意这样人云亦云。他知道赫歇尔“数星星”时提出的“恒星光度一样”的假设是错误的，赫歇尔并没有测出恒星的真正距离，建立的模型当然也就靠不住了。怎样才能建立“靠得住”的模型呢？必须设法知道星星的分布和距离，他选中了球状星团。

有一天，他在琢磨球状星团在天空的分布时，蓦地豁然开朗：球状星团的分布

明显地向天空的某一点聚集，近三分之一集中在人马座，绝大多数分布在以人马座为中心的半个天球——这说明太阳不在“球状星团系”的中心，而是偏在一边，“球状星团系”的中心在人马座方向。因为球状星团是银河系里广为分布的天体，所以他认为，“球状星团系”的中心应该就是银河系中心。1918 年，他提出“太阳不在银河系中心”的观点，以球状星团的分布为根据，认为银河系的中心在人马座方向，十分令人信服(图 3-76)。

那么，这个银河系有多大呢？夏普利又做了一系列天才的推断：

(1)最近的球状星团可用其中的造父变星测距离；

(2)远的球状星团看不清造父变星时，就改用其最亮星来判断距离(他假设所有球状星团的最亮星亮度是一样的)；

(3)最远的球状星团连其最亮星也分辨不出时，就用整个星团的亮度判断距离(他又假设所有球状星团的亮度是一样的)。

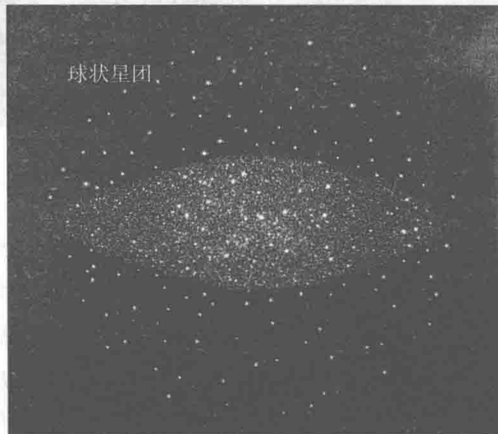


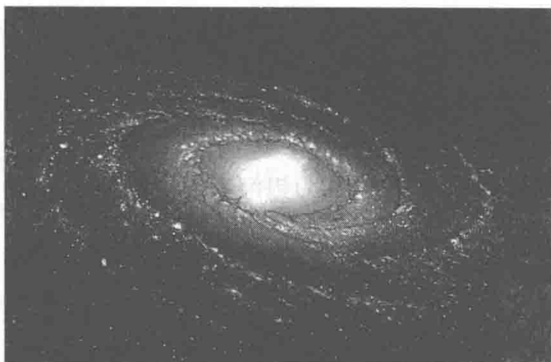
图 3-76　夏普利观测分析球状星团设想出的银河系

这就是夏普利创造的著名的“三级跳”方法，靠此方法可以直测到银河系遥远的另一端。他的结论是：银河系直径为 30 万光年，太阳偏离银心 5 万光年。

银河系这么大，使夏普利坚信，银河系就是宇宙，至大无外，不可能还有其他星系存在。

几年后有人发现，恒星和太阳有围绕银河某一点的相对运动，如果将其解释为银河系的自转，这一点是银心，一切就顺理成章了。而这一点恰好指向人马座，这是对夏普利结论的莫大支持。

为什么通过球状星团的分布一下子就找到了银河系的中心，而从赫歇尔开始，怎么数恒星也没找准呢？原来，在银河系中心方向，不但有密集的恒星，也有数不清的层层尘埃，遮住了不知多少星光。我们夏天看人马座方向(银河系的中心)的银河，已觉得其壮阔明亮，但假如没有银河尘埃遮挡的话，我们看到的这个方向的银河会像满月一样大放光明(图 3-77)。而球状星团不局限于银道面，上下任意分布，不受尘埃遮挡，几乎全能观测到，所以可以根据其分布判断出银心方向。但银道面外也是有尘埃的，夏普利没考虑尘埃因素，把星体亮度估计得过高，最后把银河系估计得太大了。考虑尘埃因素后，银河系直径就降到了 10 万光年。



设想如果太阳不在银盘内，而是在银盘外的银晕中，那我们的夜空该是一幅怎样的景象？由于没有尘埃遮挡，银心在头顶上，放出的光会比满月还要明亮，像一团巨大而蓬松的亮云，周围是可分辨出旋臂的巨大旋涡，覆盖着大半个天空。

图 3-77　太阳在银晕中的夜空（假想图）

2. 云雾状天体都是什么？

那么，银河系外又有什么呢？会不会"系外有系"？从赫歇尔时代，天文学家就对这个问题极感兴趣，这主要与被称为"星云"天体的辨认有关。

过去神学家把天穹上云雾状的斑点说成是恒星天的空洞，透过它可以看到更高一层的天——净火天。天文学家则认为它们是巨大的云雾态天体，最典型的肉眼可见星云是仙女座大星云（图 3-78）、猎户座大星云（图 3-79）。



图 3-78　仙女座大星云

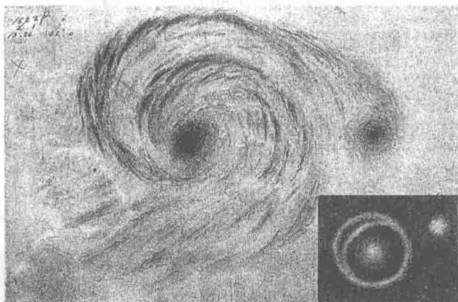


图 3-79　猎户座大星云

天文学家一直想弄清星云的本质，威廉·赫歇尔用他自制的大望远镜观察了许多"星云"，发现它们不过是密密麻麻的一团星（即现在的"球状星团"），有人据此认为所有的"星云"都是星团。但赫歇尔进一步用更大的望远镜观察时，发现有些星云不可分解，是真正的气体云，按太阳系起源的星云说，它们可能是恒星的前身。

爱尔兰的罗斯伯爵曾耗费巨资和毕生精力，制造了光学性能极优良、操作性能极差的望远镜"大海怪"。他主要目的是想把那些遥远的"星云"分解成星团、星系，不料不但没做到，又发现了更多奇怪的、无法分解的星云，它们大小不一，全呈

漂亮的旋涡状(图 3-80、图 3-81)。虽然无法分解,他仍认为这些天体是星系。但也有人认为它们不过是旋转收缩、正在形成中的“太阳系”而已。



主图由罗斯伯爵绘于 1845 年。约翰·赫歇尔在 1828 年曾观测过它,但由于望远镜分辨率有限,他把这个星云绘成环状——与他设想的银河系一样,甚至还带分叉,认为这是一个遥远的“银河系”(右下角)。但约翰·赫歇尔看到罗斯伯爵描绘的图之后,赞不绝口,称它是“巨型望远镜观测的巨大成就”。

图 3-80　位于猎犬座的旋涡状星云 M51

多年来,对这些云雾状天体一会儿是星系、一会是气体云的反复,把人们搞得无所适从,看来用目视方法难以搞清了。光谱分析法一出现,立刻有人把它用于星云的辨析。英国天文爱好者哈根斯 1864 年用分光镜发现,有的星云谱线单纯,肯定是一团发光气体,不是一群星。但也有的星云(如仙女座大星云)像恒星一样是连续光谱,好像是恒星组成的,可又分解不成一个个的恒星。看来光谱分析法也做不了最后的结论。



图 3-81　旋涡状星云 M51 的现代照片

3. 旋涡状星云——河内,还是河外?

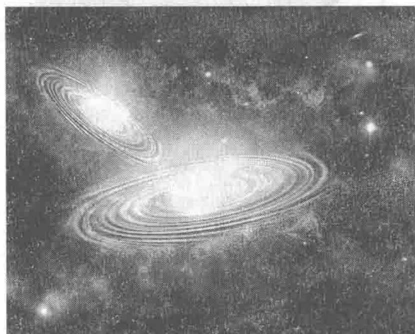


图 3-82　旋涡状星云是什么? 是星系,还是正在形成中的太阳系?

最后人们关注的焦点集中在旋涡状星云上,照相方法显示,仙女座大星云也是旋涡结构,属于这类怪物。那么,它们究竟是银河系内的“太阳星云”,还是银河系外的“河外星系”呢?(图 3-82)

1885 年,仙女座大星云内出现新星,肉眼依稀可见。“星系派”认为这是确认它为星系的最好证据;“星云派”则说:气体云中也可能会诞生新星,何况这颗新星亮达 7 等,说明仙女座大星云离我们很近。当时尚无“超新星”的概念,天文学家以为仙女座大星云内出现的是普通新星,按其亮度,推出仙

女座大星云距离为 1 600 光年——太近了,“星系派”欲辩无词。

1917 年,仙女座大星云中又发现新星,这回新星很暗,只有 15 等。对比 1885 年的 7 等新星,天文学家们很惊奇:同是新星,为什么亮暗差别这么悬殊?仔细查阅仙女座大星云过去的照片,发现还有多次这样的新星出现,惊人的是,其出现频率与银河系里新星的出现频率相当——这才可能是真正的新星!“星系派”代表人物、美国天文学家柯蒂斯(H. Curtis)大受鼓舞,立刻按新亮度估计出:仙女座大星云距离我们 100 万光年左右,毫无疑问它是星系。

1920 年 4 月 26 日,美国科学院在华盛顿召开“宇宙尺度”讨论会,由“星云派”首领夏普利和“星系派”首领柯蒂斯主持(图 3-83),史称“夏普利-柯蒂斯大辩论”,辩论中心是银河系大小、旋涡星云的距离等问题。两派各持己见,争执不下。但由于缺乏最根本的证据——能否把旋涡星云分解为恒星,在场的学者很难判断谁的观点更有力,辩论没有什么结果。



图 3-83　夏普利(左)和柯蒂斯(右)

其实这场辩论并不激烈,仅是两人各自宣读了一篇论文而已。后来史学家为了夸大宣传其历史意义,炒作成两人唇枪舌剑、据理力争、强硬维护自己观点、试图一决雌雄的“大辩论”。

观测技术发展得出人意料地快,1923 年,用威尔逊天文台世界最大的 250 cm 望远镜,美国天文学家哈勃(E. Hubble,公元 1889－1953,图 3-84)终于将仙女座大星云边缘分解为单个恒星,这无可争议地证明了它是星系。很快,哈勃又从中识别出几个造父变星,立刻测出它们的距离是 90 万光年,这与柯蒂斯用新星法推出的距离基本相同。



图 3-84　哈勃(其名字因命名威力无比的太空望远镜而广为人知)

至于仙女座大星系中 7 等与 15 等新星的矛盾,1934 年被巴德解决:原来,7 等“新星”是比新星更剧烈的大爆发——超新星。

4. 继续“三级跳”

既然证实了星系的存在,天文学家立刻对星系展开了有针对性的全面研究。

哈勃很快发现，除了旋涡星系外，还有不呈旋涡状的星系，经抽样统计，仅用那时的望远镜，就可看到几百万个星系。经仔细研究，他提出星系的“哈勃分类法”（图3-85），将星系分为椭圆星系、旋涡星系（包括棒旋星系）和不规则星系三种。

夏普利也绝非大辩论中的“保守派”，星系的存在被证实后，他立刻以异乎寻常的热情投入到星系的观测和研究中，他领导一个小组到南非计数南天的星系，证明了星系分布于天空的各个方向，有些天区，星系数量竟比银河系里恒星的数量高6倍（图3-86）。

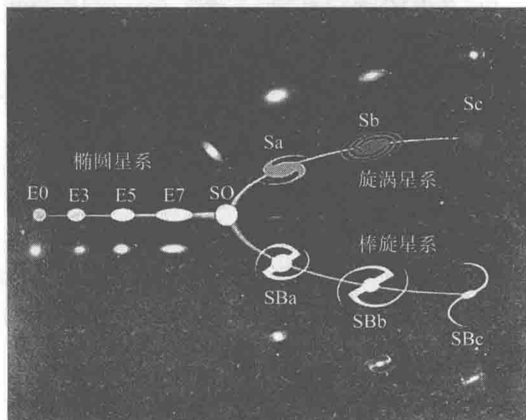


图3-85 星系的“哈勃分类法”，哈勃认为这种分类还有演化的意义



图3-86 有的天区星系比恒星要多

哈勃仿用夏普利当年估计球状星团距离的“三级跳”方法，先用造父变星测出300万光年以内的星系，再用星系中的蓝超巨星为标准，估测到3 000万光年，最后用星系的平均亮度作为标准，估测最远的星系当在10亿光年开外。

平地一声雷——大爆炸宇宙学

科学的灵魂就是尊重事实。当初每个头一次听到“宇宙起源于一次大爆炸”的人，都可能会被这种说法吓一大跳，可是现在，这个离奇的理论却流传甚广，十分走红。为什么？因为它在很大程度上符合观测事实。

1. 宇宙在膨胀？

“大爆炸”理论的出现与星系红移的发现有关，这涉及天文学的一个分支——宇宙学。

近几百年来，人类的视野急剧扩大，人们心目中的宇宙也日趋浩渺和复杂。从哥白尼的太阳系到赫歇尔的银河系，到证实了河外星系的存在，估测出最远的

星系在 10 亿光年开外。天外有天，这样扩展下去的话，宇宙有没有个尽头？而且就我们观察到的这部分宇宙来说，它的结构如何？是怎样演化的？这些问题越来越为天文学家所关注。

现在可观察到的这部分宇宙的结构已经比较清楚：星系组成星系群或星系团，星系团（图 3-87）的直径平均为 1 500 万光年，若干星系团又组成超星系团，超星系团并非球形，而多是弯曲的一层“薄”片，最大的长 8 亿光年，宽 2.8 亿光年，厚仅 0.23 亿光年。仿佛宇宙中有许多极为巨大的空泡，超星系团就挤在空泡们的交界上。



早早就有人给再向上一级结构取好了名，叫“总星系”，它包括我们现在看到的一切天体，其实我们连它应有多大、中心和边缘在哪儿都不知道，称之为“总星系”，实在只是一种弱智的外推。

图 3-87 哈勃太空望远镜拍摄的星系团

1826 年，曾发现第二颗小行星的奥伯斯就提出，宇宙如果是无限的，会产生这样的困难：人抬头向天宇望去，视线的每一方向都一定会遇到恒星，那么整个天空应该是无限亮，即使考虑前景星对背景星的遮挡，天空也会像太阳一样亮，我们根本找不到太阳在哪儿，这个困难被称作“奥伯斯佯谬”。而且宇宙尘埃的遮挡也不起作用，因为尘埃在这些星光的加热下也会以红外辐射的形式把这些能量再辐射出去，仍不能解释这个佯谬。

1917 年，爱因斯坦根据他的广义相对论提出“有限无边”的宇宙模型。他认为宇宙三维空间的伸展类似于球面的伸展，体积有限，但是个弯曲的封闭体，没有边界，稳定不变。这就避免了奥伯斯佯谬。这是第一个现代宇宙模型，虽然后来爱因斯坦放弃了这个模型，但他被公认为现代宇宙学的奠基人。

当河外星系的存在被证明后，1924 年德国天文学家维尔兹（Carl Wirtz）发现除了个别很近的星系外，所有的星系都有谱线红移，用多普勒效应解释，说明它们都在离我们远去。而且经粗略统计，他发现星系看起来越小，离我们远去的速度就越快。

哈勃研究了这个现象后，敏感地意识到，它们背后可能隐藏着重大的宇宙学意义。1929 年，当他能够用“三级跳”法测定许多星系的距离时，便将星系的距离与红移（相当于退行速度）进行比较。他发现，星系越远，离我们远去的速度就越快，而且距离和速度成正比。他求出星系的退行是每增加 100 万秒差距（合 326

万光年)速度就增加每秒 500 km。

威尔逊天文台的赫马森(M. Humason)使用了尽可能精确的“三级跳”法对哈勃提出的关系进行验证,结果发现直到 2.4 亿光年远的星系——这已是测定距离的极限——仍符合这个关系,而这时星系的退行速度已达光速的 1/7。因此,很多人认为哈勃提出的这个关系是宇宙普适、多远都成立的,故称之为“哈勃定律”,500(km/s)/Mpc(Mpc 指“百万秒差距”)的星系的退行率称为“哈勃常数”。

这是不是表明银河系是宇宙的中心,其他星系都离开银河系飞散而去呢?也不能这样说。星系都离我们远去应该只是一种观测效应,因为只要宇宙匀速无中心膨胀,星系在互相远离,那么站在宇宙任何一点,都会看到其他星系离观察者远去,越远的星系退行速度越快(图 3-88)。

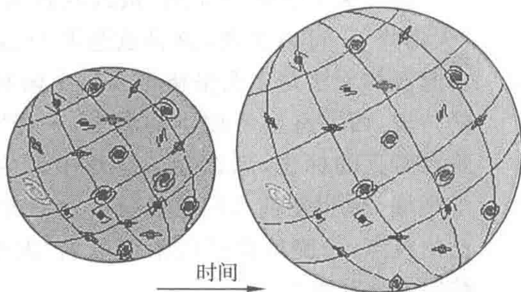


图 3-88　宇宙膨胀示意图,星系实际都在互相远离

哈勃是研究现代宇宙学最著名的人物、提供宇宙膨胀实例证据的第一人,被公认为 20 世纪最伟大的天文学家,因此他的成就足以获得诺贝尔奖。诺贝尔奖委员会曾讨论修改其章程——它原本是不包含天文学的。但 1953 年,64 岁的哈勃不幸突然去世,而诺贝尔奖不授予亡者。

2. 膨胀或稳恒——两种对立的宇宙模型

在哈勃定律出现之前,比利时数学家乔治・勒梅特(G. Lemaitre,1894－1966,图 3-89)就据爱因斯坦方程提出了宇宙正在膨胀的模型,因为缺乏观测证据,没有引起什么注意。现在有了哈勃定律,恰好说明宇宙确实是膨胀的。


图 3-89　乔治・勒梅特

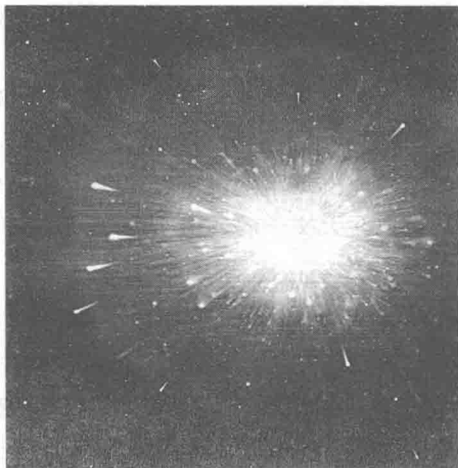
正因为哈勃的发现给了宇宙膨胀理论极大的支持,勒梅特于 1932 年又提出一个大胆的“原始原子”宇宙起源学说。他认为宇宙起源于一个极重的大原子,像原子弹爆炸那样经历了铀核裂变式的爆发,这个大原子分裂成无数较轻的原子,在猛烈四散抛射中形成今天的各种天体和正在膨胀的宇宙。

勒梅特的假说可能玄得有些过分,因此难以被人接受。不过还有比这更玄的,

16年后的1948年，美国天文学家伽莫夫(G. Gamov，1904—1968，图3-90)与合作者又提出一个模型，认为宇宙起源于一个“原始火球”，这个火球高温、高密度，充塞着自由基本粒子，火球急剧膨胀，温度迅速下降，基本粒子合成化学元素，再降温形成各种天体，膨胀一直继续，宇宙空间的热辐射也越来越稀薄。


图3-90 伽莫夫

伽莫夫的玄想公布后，被人戏称为“Big Bang”，即“大爆炸”。可以想象，这种玄想与自古以来人类对宇宙起源的看法是多么格格不入！中国有盘古开天辟地的传说，西方有上帝创世的教义，一提“爆炸”，都是灾难与毁灭的标志，怎么会从爆炸中诞生宇宙呢？在科学领域，20世纪前人们也普遍认为宇宙是不变的、永恒的。但伽莫夫等人坚持自己的观点，干脆给自己的学说取名“大爆炸宇宙学”(图3-91)。


图3-91 大爆炸中诞生的宇宙

如果按哈勃给出的“哈勃常数”回推“爆炸时刻”，那么宇宙的开端仅在50亿年前。而观测表明有的恒星已有上百亿岁了，这使“大爆炸”理论变得很滑稽，更令很多人反对它。同样在1948年，英国天文学家邦迪(H. Bondi)、戈尔德(T. Gold)、霍伊尔(F. Hoyle)等人提出了“稳恒态宇宙”模型。这个理论试图从现代科学角度说明宇宙是无限的，它没有开始的一天，也没有结束的时刻。

从哲学的角度，当然可以说哲学宇宙在时间、空间上都是无限的，问题是天文学家只能研究他们所看到的宇宙，而这部分宇宙总是有限的，宇宙学必须服从天文学家在这有限宇宙里得到的观测事实。比如，星系互相远离是毋庸置疑的观测事实，这一事实必然使宇宙物质分布越来越稀薄，“稳恒态宇宙”怎么解释这种现象呢？稳恒态宇宙理论的提出者又假设：物质能够不断从虚无中创生出来，以填补变稀薄的空间，于是宇宙永远均匀。

但这样一假设，这种看似“唯物”的观点一下子变得更玄之又玄：它竟敢破坏稳如泰山的质量、能量守恒定律，等于把自己放在了现代科学的对立面！支持大爆炸宇宙学的学者质问：新物质怎么能够从无中创造出来呢？稳恒态宇宙学的信

奉者回答说，你们的爆炸是从哪里来的，我们的物质也就从哪里来！——这确实使大爆炸信奉者难以辩解。不过到了20世纪60年代，观测计数发现早期的宇宙密度较大，因此稳恒态宇宙模型就无法站住脚了。

3.“大爆炸”理论的事实支柱

“大爆炸宇宙学”同样难以让人认可，直到微波背景辐射的发现。

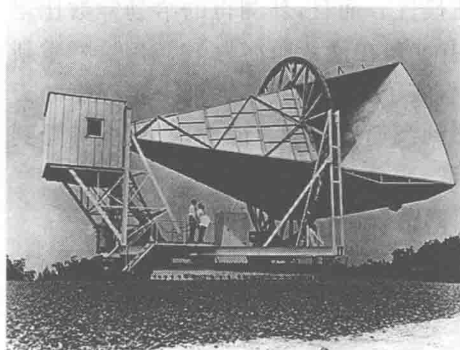


图 3-92 位于美国新泽西州的贝尔实验室、曾用来探测和发现宇宙微波背景辐射喇叭天线（平时电视屏幕上的雪花有1%来自宇宙微波背景辐射）

事情是这样的：1964年，美国的贝尔实验室正在研究卫星通信，无线电工程师彭齐亚斯（A. Penzias）和威尔逊（R. Wilson）用口径6 m、形状古怪的喇叭天线检测干扰噪声时，经历了与当年央斯基相似的疑惑（图3-92）。他们检测时发现，天空有一种微波噪声。他们把大气干扰、天线电阻以及地面噪声的影响一一扣除之后，仍然有剩余噪声，折合成温度，相当于3.5 K（绝对温度，后订正为2.7 K）。它们来自于天上某个射电源吗？他们继续观测一段时间后发现，不论指向天空任何方向，也不论白天黑夜还是春夏秋冬，这种噪声都是相同的。看来事情只能是：宇宙空间有着3.5 K的微波背景辐射。

彭齐亚斯和威尔逊（图3-93）并不明白这意味着什么，经朋友介绍，他们得知普林斯顿大学的物理学教授迪克（R. Dicke）正在安装设备，准备寻找太空的微波辐射。于是他们向迪克求教，迪克闻听后大吃一惊，因为这种辐射正是他要寻找的。他解释说：根据大爆炸宇宙学，“原始火球”膨胀后，大量热辐射在火球内不断被吸收、发射，费力地挣扎，正如热辐射在今天太阳内部经历的那样。后来宇宙温度逐渐降低，物质凝聚为气体（相当于“混沌初开”），热辐射终于摆脱物质的阻挡，开始在空间自由穿行了，这些热辐射的载体是可见光和红外线，但由于宇宙不断膨胀引起的观测红移，使它们移到微波波段。迪克曾预言，宇宙空间应当有相当于约10 K的微波背景辐射留存，但还没来得及寻找，就已经被彭齐亚斯

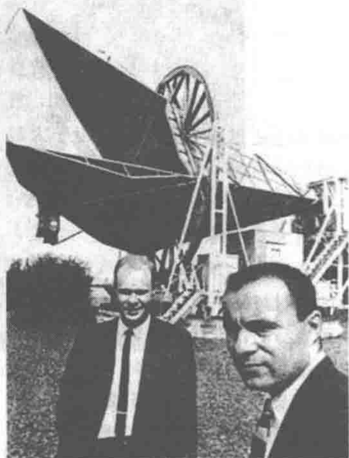


图 3-93 彭齐亚斯和威尔逊在他们的喇叭天线前

和威尔逊发现了。这些微波背景辐射,如果套用"红移"值的话,它们的红移已达到1 000,是在宇宙诞生约 38 万年时的辐射。

微波背景辐射的发现,一改科学家对"大爆炸宇宙学"的态度。"宇宙起源于一次大爆炸",荒唐吗?还是那样荒唐,但观测事实有力地证明着这个荒唐假说,科学家就毫不犹豫地赞同它。因为科学的唯一支柱是事实,不管这个事实多么超越常规、多么不可思议,科学家依然相信其正确性。而且,新测得的哈勃常数比当年哈勃给出的小了很多,只有 100(km/s)/Mpc(现在最新数据为 74.3),这样重新推得宇宙的年龄大于 100 亿年,也符合观测事实了。距离我们远到一定程度的天体,可能会以光速退行,以至于发出的光传不到我们这里来。因此,我们能够看到的天体数量是有限的,这也避免了奥伯斯佯谬。

经过几十年补充修订,目前认为宇宙的演化过程大致是这样的:

①140 亿年前的某一时刻,宇宙诞生。这时,它的尺度无限小,密度无限大,开始既没有天体,也没有粒子和辐射,宇宙中只有单纯而对称的真空状态,空间以指数方式暴胀(图 3-94)。

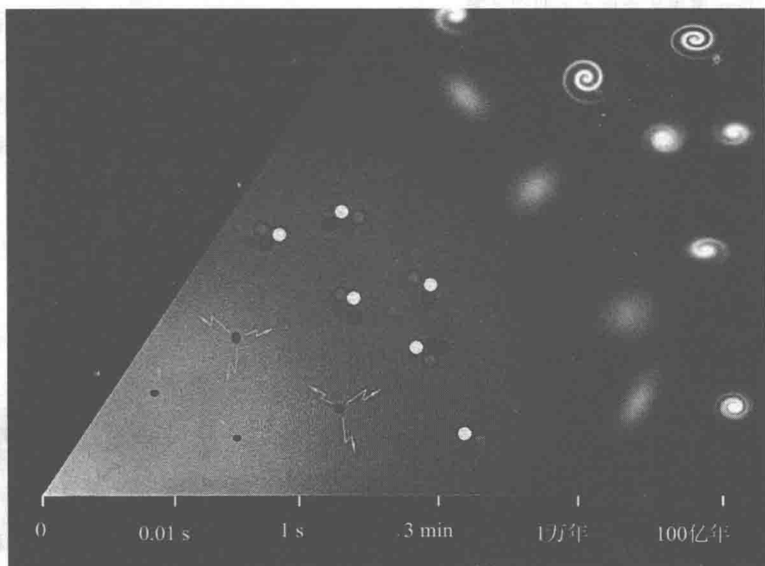


图 3-94　宇宙大爆炸过程示意

②在大爆炸后 10^{-44} s 时,万有引力分化出来。

③在 10^{-36} s 时,强作用力分化出来,物质、反物质的不对称出现。

④$10^{-10}$ s 时,弱作用力分化出来。

⑤0.01 s 时,电磁力也独立出来。基本粒子终于产生了,它们不断地衰变、湮灭,生成轻元素的原子核,这时宇宙的温度还是极高,弥漫着稠密的光子辐射。

⑥1 s时，宇宙的温度为100亿摄氏度。

⑦3 min时，宇宙的温度降为10亿摄氏度，膨胀减慢，物质密度也降低，开始核反应，氢、氘、氦核大量出现，与辐射相比，实物逐渐占了优势（幸亏随着宇宙的继续膨胀，氦占28%左右时，核反应停止，否则宇宙中的氢全变成了氦，就不会有现在这么多主序阶段的恒星了）。

⑧1万年后，大量稳定的原子形成，万有引力开始起主要作用，慢慢形成原始星云、星系、星体，直到今天。

天文学家认为，我们这个宇宙是平直的，年龄137亿年，正在加速膨胀。宇宙中暗物质约占23%，暗能量约占73%，普通物质占3.6%，发光物质占0.4%。暗物质是为解释遥远星系的“运动质量”远远高于其“光度质量”而设想的星系内的一种物质，暗物质的特性是：有质量，不带电，用通常办法无法探测到。暗能量则是对宇宙在加速膨胀事实的一种解释，认为宇宙中广泛均匀存在着引力自相斥的（类似于“反引力”）暗能量。暗物质、暗能量观念已被学术界广为接受，但因尚无观测证据，它们仍是宇宙学夜空上的两朵“乌云”。

值得一提的是，我们在宇宙微波背景中看到的辐射，实际已经凝成了星系。由于宇宙在持续膨胀，现在这些星系离我们的真实距离大约为465亿光年（不是它们发出“微波”时的距离）。

这个爆炸的宇宙在未来会怎样发展？是爆炸停止，还是永远膨胀，最后变成至大无外、黑暗死寂的空虚宇宙？可举地球为例：如果地球发生了爆炸，由于地球物质本身的引力，只要爆炸飞散速度都小于7.9 km/s，那么这些碎片终究会落回（不考虑其他天体的影响），重新聚合成地球。同样，如果宇宙的物质、能量足够多，其总引力超过某个极限时，有朝一日也会使宇宙的爆炸膨胀停止，然后回落（收缩）；但是，如果宇宙的物质、能量太少，宇宙就会永远膨胀下去。所以，测量宇宙中到底有多少物质和能量，特别是那些看不见的“暗物质”“暗能量”，是关系到弄清宇宙未来命运的大问题。

当然，如果我们宣称宇宙绝对是起源于一次大爆炸，那就过于鲁莽了。宇宙大爆炸学说虽然与事实符合得较好，毕竟仍然是一个科学假说。大爆炸之前宇宙胚胎的“孕育”、宇宙未来的走向与终结，都是天文学家面前的巨大谜团。我们只有一个宇宙样本，这样研究起来就格外困难。也许有一天，新的观测事实的出现会使现有的一切理论发生改变呢。

五、飞出地球去·探索宇宙生命

20世纪最激动人心的成就是：人类实现了自己的飞天梦。人类跨出了地球以外，登上了月球，开辟了“空间天文学”新领域，还发射了大量探测器奔赴月球、行星……甚至彗星、小行星去近距离造访。在仅仅四百多年前，人们还以为太阳系就是宇宙了，而到21世纪初，人类仿佛觉得太阳系简直就是自己家园的外院。太空探测的故事太多了，这里只能提纲挈领，梳理一下人类航天史上的大事，让读者对人类航天探测的历程有一个整体的认识而已。

还有，人类在探索宇宙的历程中，每当把目光投向茫茫星空时，都会不由自主地萌生出一种集体的孤独感：我们是一种智慧生命——人，存在于地球上，那么天上的其他星球也有人吗？应该有吧！可是，如果有的话，他们在哪里呢？他们是什么样的？

排空驭气奔如电——变“足不出户”为跨出地球

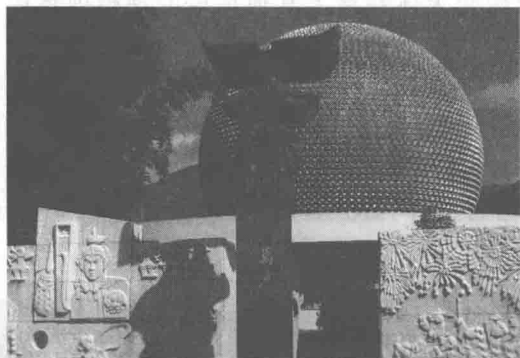
1.人造地球卫星和宇航员上天

“跨出地球”可以说是自从人类诞生以来就有的梦想，但由于重力、大气阻隔以及宇宙空间环境的恶劣，人类一直只能“大门不出，二门不迈”，老老实实待在自己的地球家园里。

但是，总有人做着飞上天去的尝试。大约公元1000年，中国的唐福发明了火箭，这是一种靠火药推力发射的武器。到了14世纪末的明代，有一个叫万户(图3-95)的人想：火箭既然可以把焰火送上天空，把箭头射向远方，是不是也可以帮助人类实现飞天梦呢？于是，他制造了一把下面绑了47支火箭的飞椅，自己手持两个大风筝(准备到高空滑翔降落)坐在上面。火箭点燃了，一声巨响过后，他和飞椅果然都迅速升向空中。但是，由于手持的风筝难以承住人体的重量，万户不幸遇难。

万户的做法虽然有些轻率，但决不愚蠢荒唐，因为上千年来人类发明的那么

多飞天工具——风筝、气球，直到现代的飞艇、飞机，都不能把人带离大气层。现代的科学技术如此发达，但人若想跨出地球，仍然必须遵守“万户原理”：用火箭把自己送上天空。


图 3-95　坐落在西昌卫星发射中心的万户塑像

万户的事迹记载于美国火箭学家赫伯特·基姆(H. Zim)在 1945 年出版的著作《火箭与喷气发动机》，但基姆未指明出处，各国都盛赞中国前人的这一壮举，但至今尚未查到该事迹的原始出处。万户为“Wan Hoo”的音译，可能为官职名，但明代并没有此官职。为纪念万户的先驱之功，人们以他的名字命名了月球背面的一座环形山。

不过，火药燃烧太快、无法控制，不是理想的火箭燃料。英国诗人拜伦曾说：“我们总有一天，会在蒸汽帮助下开辟出到月球的道路。”蒸汽的力量太小，也不足以担起飞天重任。真正实用的火箭是液体燃料火箭，它的理论奠基人是齐奥尔科夫斯基(K. Ciokowski，图 3-96)。他是苏俄一位两耳失聪的中学教师，提出了火箭喷射推进理论，建立了齐奥尔科夫斯基方程，并提出了“质量比”(满载燃料的火箭与烧完燃料的火箭质量之比，质量比越大越好)、“多级火箭”等概念。1926 年，美国的工程师戈达德(R. Godard，图 3-97)试验发射火箭成功。当时人们尚不知怎样进行火箭与地面的信号联系，戈达德曾设想，将来人登上月球后，在月球上点燃镁，在地球用望远镜就可看到镁光信号。

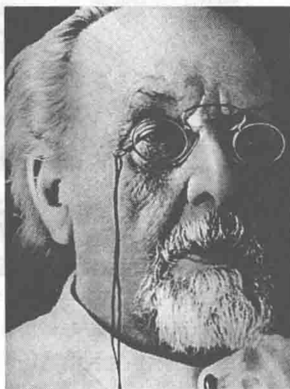

图 3-96　康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基


图3-97　罗伯特·戈达德和人类首枚现代火箭

1957年10月4日，苏联终于用三级火箭发射了人类第一颗人造地球卫星——“斯普特尼克1号”(图3-98)，卫星重83.6 kg，绕地球运行了3个月。这是人类第一次把地面上的物体送到浓密大气层以外，标志着一个新的时代——航天时代的到来，也表明了人类近距探测天体和踏上其他星球的理想即将成为现实。

从这天起，太空多了一种天体——人造天体。后来天上的人造卫星、废弃火箭等越来越多了，便加以编号，人造天体的编号很简单：发射年＋这年中发射的序位(3位数)＋(同一次发射中有多个人造天体的)拉丁字母。如1970年4月24日升空的中国第一颗人造地球卫星(图3-99)为1970/034A，末级运载火箭为1970/034B，另一碎片为1970/034C。

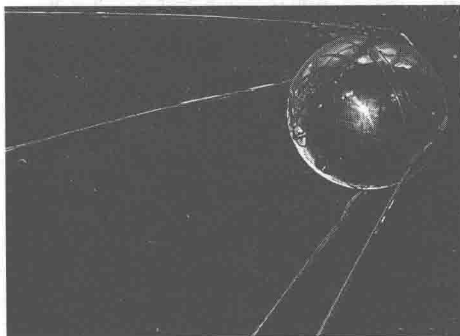


图3-98　人类第一颗人造地球卫星

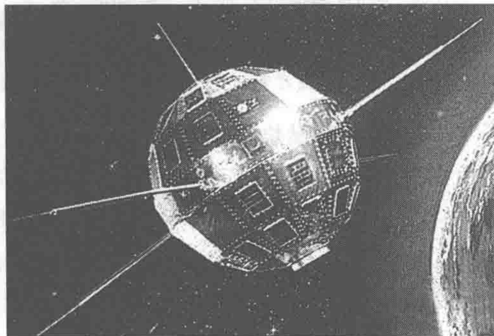


图3-99　中国第一颗人造地球卫星——“东方红1号”

仅仅三年半之后，1961年4月12日，苏联又抢在另一科技强国美国之前，临时改装了无人飞船，把人类第一位宇航员加加林(Y. Gagarin，1934—1968，图3-100)送上太空。加加林驾驶“东方1号”飞船绕地球一周后安全返回地面。这次飞行使人类在探索宇宙的征途上又跨出了具有决定性意义的一步。



这是航天史上一张著名的照片，加加林微笑着说“我走啦!”随即冲向太空。他的微笑留给人类一个永远的骄傲。

图3-100　人类第一位宇航员——尤里·加加林

据说，当时有许多条件差不多的候选宇航员，之所以选中加加林，完全是因为座舱狭窄，而加加林恰恰又瘦又小，何况体重轻的人升空时还可以节省大量的燃料。

1967年4月24日，苏联宇航员科马洛夫乘坐“联盟1号”飞船执行完任务后准备返回地面，因着陆减速伞没有打开，几分钟后飞船在地

面硬着陆，科马洛夫不幸遇难。他是人类宇航员中为太空献身的第一人，也是第二个“万户”。但是，探索太空的脚步并没有因此停止。

2. 人类登陆月球

人们早就筹划探测离我们最近的天体——月球了。1959 年 9 月 14 日，苏联发射的“月球 2 号”飞船，直奔月球，最后像陨星一样撞在月面上。1959 年 10 月 7 日，苏联的“月球 3 号”则成功地绕过月球，第一次拍摄到了月球背面的地形。

由于美国的第一颗人造卫星、第一次月球背面探测、第一个宇航员的上天都落在了苏联后面，美国朝野大为震惊，于是决定从中小学教育抓起，奋起直追。20 世纪 60 年代初，美国制定了耗资巨大的载人登月计划。从 1961 年起先是 9 次“徘徊者号”飞行，对月面拍照和硬着陆，了解月面强度。随后是 5 次“勘探者号”的软着陆，又有 3 次“月球轨道飞行器”探测，选出预计登月点。最后是 17 次“阿波罗”探月登月，先进行无人实验，再做载人绕月飞行。1969 年 7 月 20 日，“阿波罗 11 号”载人登月成功，登月舱在静海西南角缓缓着陆，飞船指令长阿姆斯特朗(N. Armstrong，图 3-101)身先士卒走出舱门，踏在月球的土壤上，在人类探索宇宙的征程上又迈出了一大步。

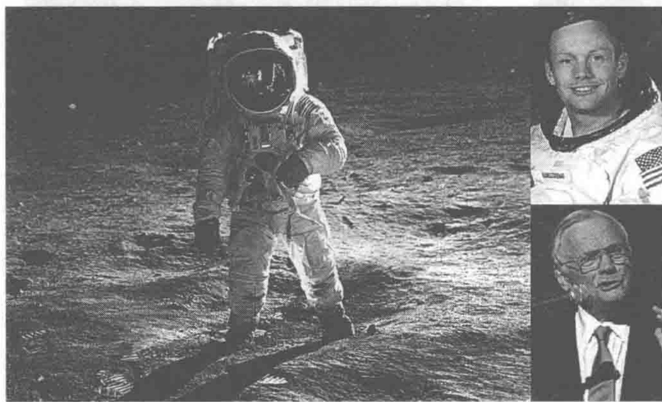


图 3-101　阿姆斯特朗及他登上月球的照片

阿姆斯特朗上月球后，面对同期收看的几亿电视观众，说出了后来成为名言的一句话：“这是我个人迈出的一小步，但却是人类迈出的一大步。”他后来表白：“我不应当获得那样大的名气。我并没有被选为第一个登陆月球的人，我只是被选为那次飞行的指令长，是当时的情况使我成为登月第一人，这并不是任何人事先计划的。”

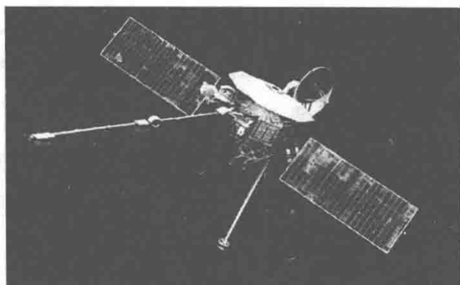
与此同时，苏联的探月计划也在进行，但因发展后劲不足，只好改为无人探测。1970 年 9 月 12 日，“月球 16 号”飞船登月成功，采集月壤并带回，苏联自称是“人类第一次在月球自动采样”。

在探测月球的同时，人们已经把目光瞄住了其他行星。

3. 探测水星、金星、火星

1973 年，美国发射“水手 10 号”探测器，在距水星 690 km 处飞过，发回很多清晰的照片，表明水星很像月球，大气极其稀薄，昼夜冷热非常悬殊。但由于“水

手10号”(图3-102)飞行得太快，未能进入环水星轨道，拍摄的只是水星半面的照片。科学家对水星不太感兴趣，故三十多年来再没有探测器接近过水星，直到2004年，美国航空航天局才发射了“信使号”探测器(图3-103、图3-104)，它经过1年的旅行后再接近地球，借助地球的引力减速，然后两次飞过金星，借助金星引力再减速，两次飞过水星后，于2011年3月第三次靠近水星，速度刚好为水星俘获，成为第一颗环绕水星运行的人造卫星。它可以拍照水星95%的表面。


图3-102 “水手10号”探测器曾3次飞掠水星

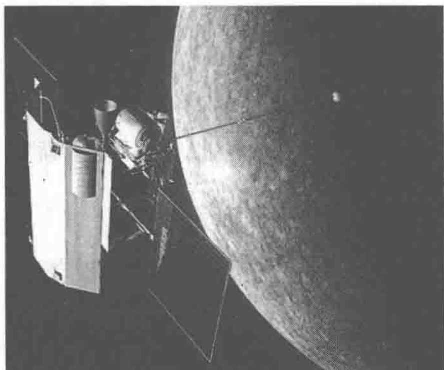
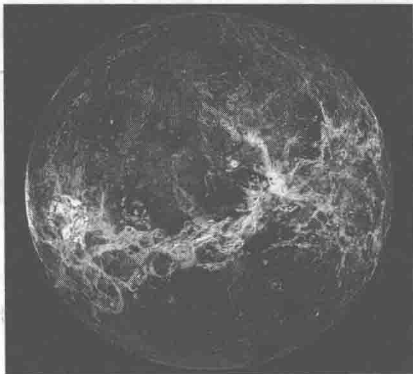

图3-103 “信使号”水星探测器


图3-104 “信使号”拍摄的水星表面高清照片

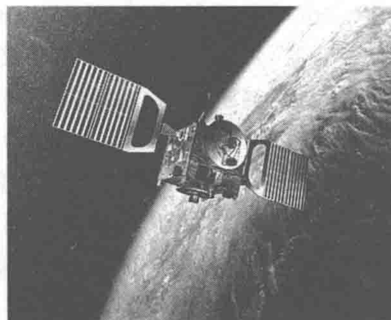
相比之下，美、苏两国都对金星(图3-105)这个地球的姐妹星投入了很多的热情。从1961到1982年，苏联发射16艘金星探测器，开始的探测没什么重要收获。1972年，苏联“金星8号”终于在金星表面软着陆成功。探测发现，金星上比烤箱还要热，其大气浓密沉重，充满腐蚀性极强的酸类，环境十分恶劣。从1962年起，美国发射了7艘“水手号”金星探测器。


图3-105 金星

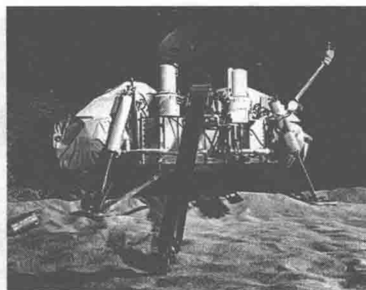
近距探测和着陆探测，使科学家揭开了“维纳斯”的神秘面纱：原来，金星大气主要是二氧化碳，布满浓云，有强烈的温室效应。金星上没有磁场，地形因风化而比较平坦，但也有万米高山和3 000米深的峡谷。迄今最成功的金星探测器，是美国1989年5月发射的“麦哲伦号”金星

探测器(图 3-106),它 1990 年 8 月 10 日开始绕金星飞行,用雷达透过厚密的大气层对金星表面进行测绘,将金星的容貌展现在世人面前。


图 3-106 “麦哲伦号”金星探测器


图 3-107 欧洲宇航局“金星快车”探测器

在金星探测沉寂了十多年后,2005 年,欧洲宇航局的“金星快车”探测器(图 3-107)发射升空。经过 5 个月长途飞行,于 2006 年 4 月进入椭圆形的金星极地轨道,探测到了金星上有新火山活动的踪迹。


图 3-108 “海盗号”火星探测器模型

探测火星的行动也开始得很早,从 1962 年起,苏联一连发射了“火星号”探测器 12 个,多数以失败告终,但也探得火星的许多新信息,不过向外公布的不多。从 1964 到 1977 年,美国向火星发射了“水手号”“海盗号”(图 3-108)共 8 个探测器,发现火星上有环形山、火山、峡谷,尤其惊人的是有干涸的河床(图 3-109),说明在过去火星上曾有河水流淌。但探测表明,火星上并不存在被传得沸沸扬扬的“运河”(图 3-110),也没有找到任何生命的痕迹。火星的磁场很弱,大气也极为稀薄(只有地球的百分之一),成分以二氧化碳为主,有很少的水汽。每年火星过近日点时,由于太阳照射的增强,都会形成席卷全球的沙尘暴。

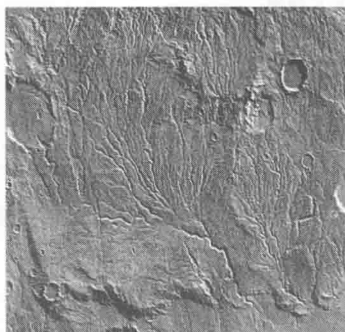

图 3-109 火星表面的照片,极可能是流体冲刷的痕迹


图 3-110 “海盗号”拍摄的火星全球照片,可清晰地看到巨大的“水手谷”

世纪之交，又一轮火星探测高潮兴起，几乎一个会合周期（两年多）一次。1996 年，美国发射“火星探路者号”，次年在火星着陆，寻找生命痕迹、拍摄地表景观，同年“火星全球勘探者号”也到达。1998 与 1999 年之交有“火星气候探测器”“火星极地着陆器”奔赴火星，但前者在接近火星时失踪，原因是不同研制小组使用的单位有公制有英制，导致系统失灵；后者在着陆过程中过早关闭了发动机，导致着陆舱硬着陆而毁坏（1998 年日本“希望号”火星探测器发射，4 年后也不知去向）。2001 年 4 月，美国“奥德赛”火星探测器升空，主要任务是在火星上寻找水。

2003 年 6 月、7 月，美国“勇气号”（图 3-111）、“机遇号”发射升空，次年先后踏上了火星，试图寻找水和生命的踪迹。“勇气号”火星车非常争气，本来它的设计寿命为 3 个月，但实际却工作了整整 6 年，在火星上共行走了 7.73 km，超过原定计划的 12 倍，2006 年右前轮不转了，改为后退行走，仍拖着残腿走了 1 km，而且不转的轮子意外地在地表刮擦出一些白色的矿物，拍到了一些颗粒逐渐消失的照片，推测可能是水冰。



图 3-111　“勇气号”火星车模型

2005 年 8 月，“火星勘探轨道器”发射；2007 年 8 月，美国“凤凰号”发射，次年成功登陆火星，但半年后失去联系。火星探测最鼓舞人心的成果是：近 30 年来，每次探测都发现火星上的水比上一次估计的多。

中国首枚行星探测器——火星探测器“萤火一号”搭载俄罗斯发射的“福布斯-土壤”火星探测器火箭于 2011 年 11 月升空，但后来处于近地轨道中探测器的主发动机未能按设计方案自动实施点火，导致无法飞向火星。

美国宇航局的火星科学实验室“好奇号”探测车，于 2011 年 12 月发射升空，2012 年 8 月 6 日在火星表面登陆。这辆探测车比“勇气号”重 3 倍，有汽车大小，携带了更多的先进仪器并首次用核动力驱动。为了精准着陆，它采用“空中起重

机”式着陆，“起重机”是四脚斜着喷火的着陆器，着陆器用缆绳徐徐吊下“好奇号”，这样可以避免气囊式的翻滚，也避免了火星车放在着陆器上时着陆后开下来的麻烦。着陆后，“好奇号”开始了为期两年的探测活动。它用激光枪、钻探的方法分析岩石成分，可以探测比以前任何火星车更广大的区域，并调查火星历史上或现在存在生命的可能性。

火星探测似乎存在一种“火星诅咒”：探测火星比探测其他行星失败率要高得多，仿佛太空阻碍人类探测火星一般，历年发射火星探测器中有 2/3 以失败告终，有的失踪在大气层外，有的甚至在发射场就炸毁。

4. 一船联游探测外行星

20 世纪 70 年代初，人们开始安排探测外行星的计划。木星、土星等离我们太远，飞船到达耗时太长，只测一星未免浪费，所以科学家想出了一船多星联游的办法。这种办法不仅可以一船多用，而且每次靠近一颗行星时，还可以借行星动力加速，这样就大大节省了燃料，降低了起飞重量。最理想的联游路线是，飞船先到木星，借木星的强大动力转一个弯并稍稍加速，奔向土星，再借土星的动力奔向天王星……其原理就像转动的风扇击打一个同向擦边掠过的乒乓球一样，飞船每接近一颗行星，就被加速一次，送向远方。

由于类木行星离太阳十分遥远，利用太阳能做动力已不可能，飞船一般采用同位素热电池做能源；为接收来自地球微弱的无线电信号，飞船都装有一个极大的抛物面天线。

1973 年和 1974 年，美国先后发射了“先驱者 10 号”“先驱者 11 号”探测器，揭开了探测外行星的序幕。两艘飞船各经过 1 年半的旅行，先后到达木星。“先驱者 10 号”借木星的动力又飞向土星，然后转向海王星，1986 年穿过冥王星轨道，第一个飞向太阳系外，方向是金牛座。“先驱者 11 号”探测完木星后则奔向土星，然后飞出太阳系。

1977 年 8 月、9 月，美国又分别发射“旅行者 2 号”“旅行者 1 号”探测器。这次恰巧赶上了极为理想的联游路线：“九星联珠”即将发生，木星、土星、天王星和海王星全精确地排在太阳的一侧。这样的机会每 175 年才有一次，而且这次只有在 1977 年 8 月与 9 月之交发射探测器，才能实现“四星联游”，所以科学家精心选择了发射日期，设计了飞船路线。“旅行者 1 号”只从木星跳到土星，就逸出了理想的轨道，而“旅行者 2 号”则终于顺序飞过木星、土星、天王星、海王星，然后飞出太阳系。两个探测器上都带有镀金唱盘，记载着地球人对可能遭遇的外星文明发出的问候。1998 年，“旅行者 1 号”后来居上，飞到了距我们 90 天文单位之外，超过了“先驱者 10 号”飞出的距离，成为在宇宙中飞行得最远的人造天体。2012

年，“旅行者 1 号”在 126 天文单位处跨越了“激波边界”(太阳风与星际介质混合的区域)，终于逃开了太阳风的追赶，进入星际空间。由于飞船携带的核电源只能工作几十年，加之距离越来越远，发射、接收无线电信号越来越微弱，预计它将在 2020 年左右与地球失去联系。其实以光速算，“旅行者 1 号”离开我们还不够光走 1 天的距离，远远没逃出太阳的引力范围。(图 3-112)

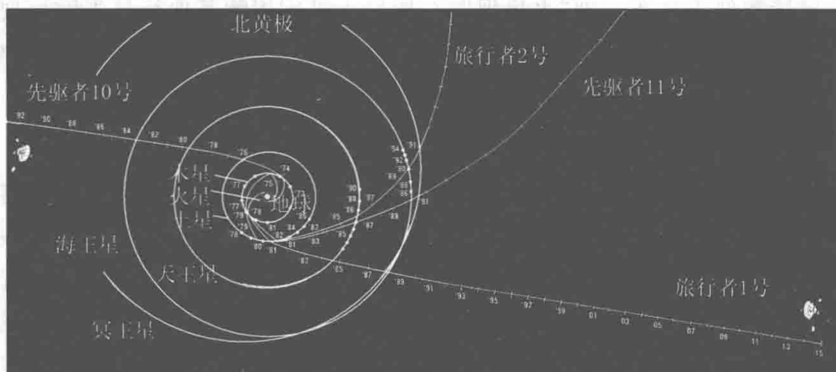


图 3-112 “先驱者”“旅行者”的一船多星联游

航天时代使太阳系成了我们地球家园的“外院”，行星在我们的心目中再也不是望远镜中模模糊糊的圆盘了。飞船的逼近观测和着陆探测使行星的信息滚滚而来，当人类的探测器首次到达一颗行星时，就立刻使我们对该行星的了解一下子多了 1 000 倍，天文学家不得不加班加点拼命干，来分析、研究这些数都数不清的照片。

5. 探测木星、土星

探测外行星的第一个重大收获是对木星结构的全新认识。科学家通过分析“先驱号”“旅行者号”探测木星引力场的结果，发现木星不可能是过去设想的固体行星，而是流体行星，其组成成分与太阳相似，其结构中心是高温固体核，幔为液态金属氢，最上层为液态氢(图 3-113)。尤为特别的是，木星释放的能量竟远大于从太阳获得的能量。据推测，能量可能产生于木星的重力收缩。多年来让人们猜测不已的大红斑终于被证明是一个大“台风”——气旋。过去几百年来，人们只知道土星有光环，1977 年借天王星掩星的机会才发现天王星也

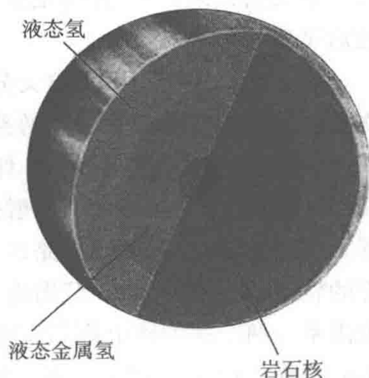


图 3-113 航天时代对木星结构的认识

有环，而1979年3月“旅行者1号”飞临木星时发现木星也有环，这个环只有6 500 km宽，由颜色如煤渣一般的碎石组成，极为暗淡，很难称作是“光环”。所以，虽然木星离我们比土星近了很多，我们用大望远镜也看不到这个环。

上述到达木星的4个探测器都没带着陆舱，是在飞过时远距离探测的，探测时间短，数据不全面。这些初步探测使人们对木星产生更大的了解欲望，于是1989年美国发射了“伽利略号”木星专用探测器（图3-114），它先到达金星加速后，绕回地球加速再奔向木星，成为环绕木星的人造卫星。1995年7月它释放了一个子探测器进入木星大气层，做了75分钟的实地考察。“伽利略号”发回的木星照片极为清晰，从中又发现了木星的尘埃环。它对木卫也做了近距离探测，发现了木卫的地下海洋和活火山。它还首次完整地观察到木星强大而复杂的磁场，其南北与地球相反。“伽利略号”共绕木星飞了34圈，于2003年坠毁在木星表面。这次探测被誉为20世纪最重要的行星探测活动。



图3-114 “伽利略号”木星探测器

当代天文学家对木星有了一种生存学高度的认识：木星这粒太空的大“水滴”，是一台性能良好的“吸尘器”，它可以有效地清除太阳系中绝大部分的碎片状天体。据计算，如果没有木星，地球遭到其他天体撞击的频率将是现在的1万倍。如果没有木星或木星很小，小行星带将增加一颗相当大的行星，火星的体积也会比现在大得多。

2011年8月5日，美国宇航局“朱诺号”木星探测器发射升空。预计2016年进入木星轨道，将对木星大气结构、地层构造以及磁场情况进行探测。

截止到2013年，木星被证认的卫星数量已达66颗，其中有很多是探测器发现的。

1980年，“先驱者11号”“旅行者1号”“旅行者2号”先后到达土星，天文学家在分析发回的照片中，首先被土星光环的清晰细节吸引，过去的观测一直认为光环是平坦连续的5圈，现在才发现土星光环结构极为复杂，细如密纹唱片，简直分不清有多少圈了。土星的结构与木星近似，磁场较强，极性颠倒，大气的风速可达400 m/s，是太阳系中最强的风。探测器发现土卫二表面是冰，反射率几乎达100%，是太阳系天体中反射率最高的天体。探测器还测到了土卫六的浓密大气、土卫八的黑白两色“阴阳脸”、土豆状土卫七的翻筋斗混沌自转。由于抵

近观测和大望远镜的使用，土星的卫星数量也猛增到62颗，还有一些正待认证。

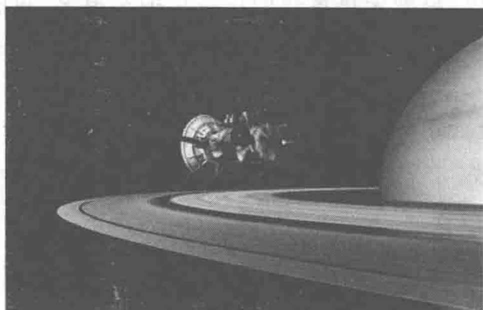


图3-115 “卡西尼号”进入土星探测轨道的想象图

1997年10月，美国、欧洲联合研制的土星专用探测器“卡西尼号”（图3-115）升空，它两次飞过金星、一次飞过地球加速后于2004年6月到达土星。6月30日先后两次穿过土星光环间隙进入土星探测轨道，拍到了大量极其清晰的土星及其卫星的照片（图3-116）。它还释放了“惠更斯号”子探测器对“遥远的小地球”土卫六进行探测（图3-117）。从发回的照片中可以看到土卫六表面有许多河道，这是太阳系已知的第二个有液体在地表流淌的星球。到目前为止，“惠更斯号”还是登陆最远天体的探测器。

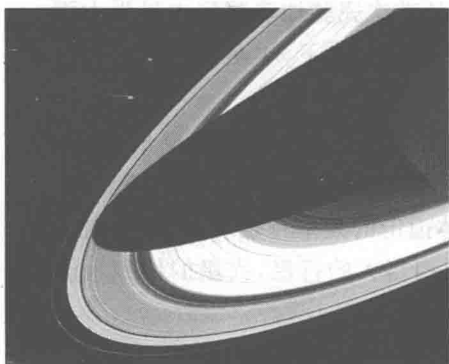


图3-116 “卡西尼号”于2004年7月拍摄的土星光环，这是在地球上永远也看不到的角度



图3-117 “惠更斯号”子探测器着陆土卫六想象图

6. 探测天王星、海王星

1986年1月，“旅行者2号”经过长途跋涉终于到达天王星。在1977年通过天王星掩星发现9条环的基础上，又发现了新环带，这些环物质也暗如煤渣，不能叫“光环”（图3-118）。探测器又发现天王星的10个新卫星（加上随后的地面观测、哈勃望远镜观测，天王星卫星的总数已达29颗）和天王星内部的石核-海幔-气壳结构等。“旅行者2号”探测完天王星后，又于1989年8月飞过海王星，发现海王星也有细细的5道暗环，且不很完整（图3-119）。海王星磁轴倾斜、气候活跃。探测器在已知海王星两颗卫星的基础上又发现7颗卫星。

图 3-118 “旅行者 2 号”拍摄的天王星环（天王星环是 20 世纪继冥王星后太阳系最重大的发现）

图 3-119 海王星

由于位置不合适，以前的飞船联游都未能到达冥王星。虽然后来由于柯依伯带天体的大量发现使冥王星失去了“大行星”的地位，但人们对这个位于太阳系边缘的神秘星球的兴趣有增无减。为此科学家设计了第一个造访冥王星的探测器“新地平线号”（图 3-120）。在几度推迟之后，2006 年 1 月 17 日，“新地平线号”发射升空。按计划，它将在 2015 年 7 月靠近冥王星，届时将有 5 个月的时间进行拍照和探测。

图 3-120 “新地平线号”探测器的飞行路线示意图

“新地平线号”是人类有史以来发射的最高速的飞行器，可以在 9 h 内飞过月球，而当年美国发射的“阿波罗”飞船要用两天半时间。由于它所携燃料不足以供减速和进入环冥王星轨道之用，它将在造访冥王星及其卫星后继续前行，一去不返。

7. 探测彗星、小行星

20 世纪，人们已经知道，彗星只是个空架子、看得见的真空。那么，彗核是什么组成呢？最早曾有人认为彗核是一群大雁飞行般的松散石块。1950 年，美国天文学家惠普尔(F. Whipple)提出彗核的“脏雪球”理论，认为彗核由尘埃、石块和凝冻的气体组成，像一个粘了很多泥土的雪球，彗星接近太阳时，受太阳热力影响，凝冻的物质喷发散逸，形成彗发和彗尾。

1985 年哈雷彗星回归时，美国、苏联、欧洲航天局曾发射多个探测器近距探测，这是人类第一次发射探测器近距离观测彗星。1986 年 3 月 6 日，苏联发射的“维加1 号”到达距哈雷彗星彗核 8 900 km 处，首次拍到彗核照片(图 3-121)。探测表明，哈雷彗星的核是马铃薯状，长 15 km，宽8 km，表面为黑色，确实是个“脏雪球”，但比惠普尔设想的要“脏”得多，上面有许多洼地、深谷，都是“喷气口”。彗星受太阳光照射时，其“地面”的泥壳十分炎热，热量传入地下，会使地下的雪球物质气化，从洼地、深谷中强烈喷出。另外，“维加 1 号”探测器还首次发现彗核中存在二氧化碳，并找到了简单的有机分子，因此科学家认为从彗核中可能会寻找到生命起源的线索。

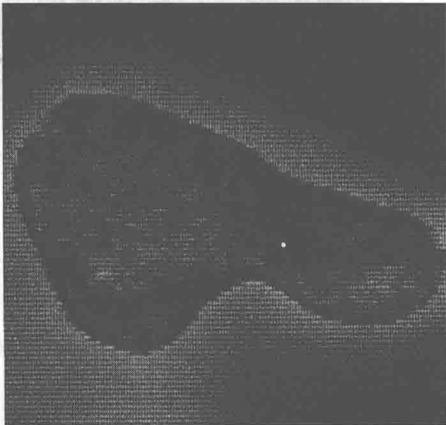


图 3-121　“维加”拍摄的哈雷彗星的彗核(由于接近太阳，此时拍摄的彗核也被其表面的喷流遮盖得模糊不清，这是去掉喷流后的图像)

据说，哈雷彗星回归时，惠普尔已经年逾八十，他为自己的“脏雪球”模型获得证实而兴奋得彻夜难眠。

1985 年，欧洲空间局发射“乔托号”彗星探测器。它于 1986 年 3 月 14 日从哈雷彗星彗核中心 607 km 处掠过，冒着被彗星散发出的尘埃粒子击毁的危险，拍摄了 1 480 张彗核照片。照片上显示哈雷彗核形状凸凹怪异，如同一颗硕大的花生。

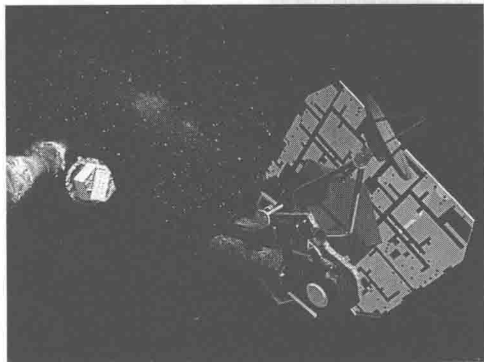


图 3-122　“深度撞击号”撞击想象图

2005 年 7 月 4 日，美国一艘名为“深度撞击号”的彗星探测器(图 3-122)在飞行六个多月后，来到“坦普尔一号彗星”的身旁，

把一枚实心的铜弹射向彗核。令人惊奇的是，溅起的物质为极细的粉末状，含有水、二氧化碳和有机物。这说明彗核甚至比雪球还要疏松，肯定不是个大冰坨，很可能是一个“膨化”多孔的海绵状结构体。

欧洲航天局的“罗塞塔号”彗星探测器于2004年3月升空。它在飞行71亿千米、多次掠过火星和地球后，于2014年8月与“楚留莫夫-格拉希门克”彗星会合，绕彗星转动，11月12日投放了洗衣机大小的着陆器“菲莱”。这是探测器首次在彗星上“软着陆”。当然，因为彗星引力很小，这次软着陆既不需要降落伞也不需要安全气囊，只要轻轻飘落到彗星表面就行了，然后用类似鱼叉的触手牢牢抓住彗核表面，以防飘走。“菲莱”可以进行“地下钻探”，取样研究彗核内的物质。

宇宙飞船第一次探测小行星是在1991年，木星探测器“伽利略号”飞往木星的途中掠过小行星“加斯帕”顺便进行了探测。1998年12月23日，美国“尼尔”探测器在距离爱神星3 821 km处掠过，发现爱神星表面的颜色多样，有两个中等大小的陨石坑，还有一条长长的山脊。此外还测得爱神星长33.8 km、宽12.9 km、高12.8 km，每5.27 h自转1周。

8. 航天飞机与空间站

过去发射卫星、宇宙飞船一直用火箭，火箭只能一次性使用，代价高昂，于是美国人20世纪70年代研制了一种可重复使用的航天器——航天飞机（图3-123）。后来苏联也于1988年发射并成功收回了“暴风雪号”航天飞机（图3-124）。它可以像火箭一样垂直发射，又可以像飞机一样滑翔返回。1981年4月12日，“哥伦比亚号”航天飞机首航，在未做不载人试验的情况下直接载人升空，绕地球飞行36圈后在爱德华空军基地的跑道上安全着陆。随后美国制造出5架航天飞机，用于发射空间探测器，为空间站运送组件、人员、给养，对哈勃太空望远镜维修等工作。



图3-123　美国的航天飞机



图3-124　“暴风雪号”航天飞机

到1986年，航天飞机已飞行25次。1986年1月28日，“挑战者号”发射升空后爆炸，7名宇航员牺牲。2003年2月1日，“哥伦比亚号”在完成飞行任务返回着落前解体，成为第二架失事的航天飞机。

开始设计航天飞机时，设计者认为它有5大优势：便宜（发射1次仅花费600万美元），功能强大（载4至7人及20至30吨货），安全，舒适，飞回后经1至2周的维护即可复飞。但实际上这些理想都没有达到，因为航天飞机必须要飞回来，所以部件、系统做得非常昂贵，一般火箭上所有的设备，能正常工作10分钟也就够了，10分钟后出什么问题都没关系，所以成本要低得多。1991年制造的“奋进号”造价20亿美元，同一时代的中国“长征二号”捆绑式火箭，整个发射费用还不到0.3亿美元。由于空间环境严酷，零件易耗损，航天飞机重复使用前的维护相当复杂，平均间隔88天才可复飞，航行一次实际消耗5亿美元，过于高昂，而且安全系数很低。因此，就目前的技术水平而言，航天飞机几乎在所有方面都不具备与火箭竞争的能力。2011年7月21日，美国“亚特兰蒂斯号”航天飞机执行任务飞回后，航天飞机全部退役，标志着航天飞机时代的暂时终结。

总而言之，航天飞机是高技术的早产儿，它升空是火箭，入轨是飞行器，返回是滑翔机，完成的是21世纪的工作，今天的技术难以支撑它的运行。

载人宇宙飞船只能短时间绕地飞行，为了能让宇航员在外层空间长时间工作，出现了“空间站”的概念。这是可以长时间在轨道上飞行的特制飞船，有相对宽敞舒适的工作、生活环境。1971年4月19日，苏联发射了世界第一台空间站“礼炮1号”，随后飞船“联盟11号”把3名宇航员送进了“礼炮1号”，在里面工作了23天，但在返回地球的时候，“联盟11号”减压舱提前减压，导致3名宇航员死亡。此后苏联又成功发射了“礼炮”4号、6号和7号空间站。

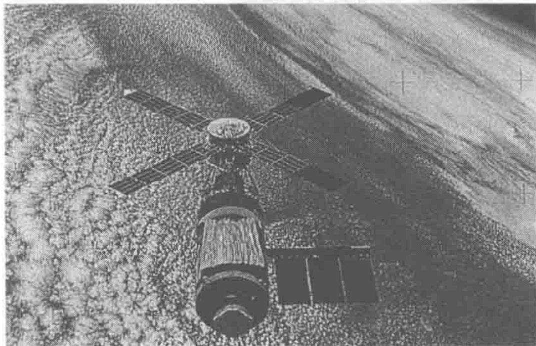
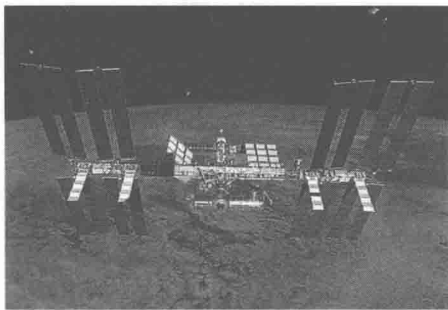


图3-125　美国的“天空实验室”

“天空实验室”（图3-125）是美国第一个试验性空间站，于1973年5月14日发射升空，进入离地面435 km的近圆轨道。整个空间站由指令舱、轨道舱、过渡舱、多用途对接舱和太阳望远镜等部分组成，全长36 m，重77 t。由于没考虑太阳活动问题，后来太阳活动加剧导致大气阻力超过预期，于1979年提前坠落。


图 3-126　国际空间站

初期的空间站都是在地面组装完毕，一次性发射升空的。但“礼炮”6 号、7 号和“天空实验室”都在舱外留了两个对接窗口，这蕴含了一种新思路：可以先把一个核心舱体发射升空，然后把其他舱体分别发射上去对接组装。这种模块化的构建方式对运载火箭的要求可以大大降低。后来的“和平号”和“国际空间站”（图 3-126）都使用了这种办法。

“和平号”空间站由苏联建造，苏联解体后归俄罗斯所有，这是人类第一个可长期居住的空间站，曾创造了 9 年又 358 天的人类在太空最长连续逗留纪录。“和平号”第一个舱于 1986 年发射，以后十多年中多个舱在轨道上相继组装上去，进入 21 世纪后，“和平号”因部件老化、缺乏维修经费，最终于 2001 年 3 月 23 日坠入南太平洋。

“国际空间站”由美国、俄罗斯、日本、欧洲航天局和加拿大等共同建造，1998 年开始装配，多数都由航天飞机运送。装配完成后的国际空间站总重量为 430 t，长 88 m，4 个太阳电池阵宽 110 m，可供 6—7 名航天员在轨工作。运行高度约 400 km，设计使用寿命为 10—15 年。这是目前唯一在运行的空间站。

尽管国际空间站耗费巨大，它的建成仍有重要意义，为人类在太空中生存提供了经验，也向建造太空工厂、太空发电站、永久居住区的远期目标接近了一步，其微重力环境为科学研究提供了优越的条件，其真空环境更为天文观测打开了窗口。

9. “神舟”与“嫦娥”

1999 年 11 月 20 日，中国发射了第一艘宇宙飞船“神舟 1 号”，用 21 小时 11 分钟绕地球 14 圈，成功地返回到预定的降落地点。随后发射了“神舟”2 号、3 号、4 号，不断为载人飞行积累经验。


图 3-127　中国第一位上天的航天员杨利伟

2003 年 10 月 15 日，中国成功发射“神舟 5 号”载人宇宙飞船，把航天员杨利伟（图 3-127）送上太空，仍是用了 21 小

时，绕地 14 圈，然后安全返回。2005 年 10 月，“神舟 6 号”宇宙飞船又把两名中国航天员送入太空。接着 2008 年 9 月，“神舟 7 号”搭载了三名宇航员升空，并实现了首次太空漫步。“神舟”系列飞船发射项目的长远计划是在 2020 年前建成一个 30 t 级的空间站。

就在“神舟”计划步步取胜的同时，中国航天又启动了“嫦娥”探月工程。这是继人造地球卫星、载人航天之后，中国航天史上第三个里程碑。2007 年 10 月 24 日，“嫦娥 1 号”月球探测器发射升空，经过 18 天的飞行后进入环月轨道，拍回了许多清晰、完整的的月球影像。2009 年 3 月 1 日，“嫦娥 1 号”完成使命坠向月球。“嫦娥 2 号”(图 3-128)于 2010 年 10 月 1 日发射，这次仅用 4 天半就直接飞到月球附近，获取了世界上覆盖最全、分辨率为 7 m 的全月图后，从月球轨道出发奔赴日地拉格朗日点 L_2 进行科学探测，然后又对小行星“图塔蒂斯”做了近距离交会探测，成为绕日的行星，奔赴更远的深空。

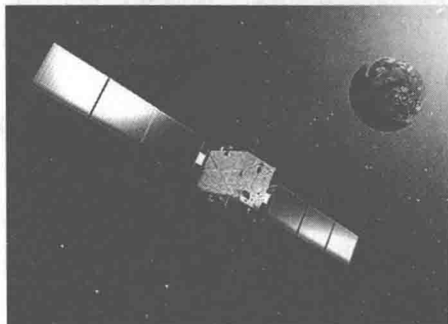


图 3-128 “嫦娥二号”月球探测器

2013 年 12 月 2 日，“嫦娥 3 号”发射，携带的“玉兔号”月球车于 3 天后在月面成功着陆，开始自动巡视勘测。

茫茫宇宙觅知音——寻找“外星人”

1. 对“外星人”的猜测阶段

15 世纪以来，自从哥白尼学说取得胜利、人类意识到自己仅仅是居住在一颗普通行星上时，人们就不再满足于天国方面的各种神话了，“外星人”问题正式作为一个科学命题摆在了各代科学家面前。意大利哲学家布鲁诺就相信，宇宙中很多星球都有智慧生命存在。伽利略在他著名的《对话》一书中认为，如果月球有生命，将“极为多样，远远超过我们的想象”。脑子里充满天才玄想的开普勒，在他的《月亮之梦》一书中，认为月球有大气层，月面上生物成群结队，有的用脚走，有的用翅膀飞，有的顺水而下，其中也有智慧生命——月球人，他们为了抵御月面的炎热，皮肤上长了一层厚厚的石膏。

1686 年，法国作家伯纳德·丰登涅尔在《论众多世界的可能性》一书中对太阳系每颗行星的生命都做了猜想。德国哲学家康德于 1755 年出版了《宇宙发展

史概论》,在提出"星云说"的同时对外星智慧生命也做了大胆的推测。康德认为,每颗行星都可以有生物甚至智慧生命存在。他进一步认为,各行星到太阳的距离不同,接收的热量也不同,因此各行星上人的体质会有极大的差别。水星、金星上的人比较迟钝和粗笨,木星、土星的居民则由更轻巧、更灵活的物质组成,地球人与火星人处在其中,但火星因离太阳更远,火星人显然比地球人更完善(这为后来的"火星人"热潮埋下了伏笔)。他还引用欧洲启蒙运动时期英国古典诗人亚历山大·波普的诗句来说明这一点:

最近高天层的人都在看
地上人的行动很离奇
有人发现了自然规律
居然做出这样的事体
他们在看我们的牛顿
好比我们在欣赏猢狲

英国天文学家威廉·赫歇尔不但认为行星上和地球一样有人居住,甚至走得更远,提出太阳上也有人居住。他认为,太阳与地球一样,也是一个固体星球,上面有动植物,有居民。太阳的光热只是它的高层大气发出的,黑子即是太阳高热云层的孔洞,太阳人通过黑子可以看到外面的星空世界。

由于当时对生物学、生命科学的研究刚刚起步,人们还没有认识到生命存在条件的苛刻性。而且那时天文学家对其他行星物理状态的了解也不足,所以这种到处都有生命的"泛生论",直到20世纪初仍然盛行。

1835年8月25日,新开张不久的纽约《太阳报》为扩大销路,编造新闻说:约翰·赫歇尔用当时最精良的望远镜在非洲好望角观测月亮,看到了月面上有优美的湖光山色,开满了罂粟似的鲜花,还有紫松般的树木、野牛般的动物、长有翅膀的外星人等。公众信以为真,一时轰动了文明世界,形成历史上著名的"月亮骗局"(图3-129)。小赫歇尔在好望角观测是真,但据光学原理,光学望远镜若想达到看清月球上



图3-129 "月亮骗局"图片

"罂粟似的鲜花"的分辨率,口径至少要 600 m。

2."火星人"及其"运河"

1785 年,威廉·赫歇尔观测火星时,发现火星上有大气、有四季、有与地球差不多的昼夜交替,某些地块还会随季节改变颜色,极地的冰雪更有明显的季节变化,所以坚定地认为火星上有人居住。

老赫歇尔的说法得到后来大多数人的响应,因为火星太像地球了,以至于被称作"空中的小地球",它上面存在生命应是顺理成章的事。所以,随后一百多年寻找"外星人"的热潮,主要集中在"火星人"上。

为了与"火星人"联络,有些人做了奇妙的设想。德国数学家高斯建议:在中亚的大平原上栽种巨大的松树林带,勾画出边长为 3、4、5 的直角三角形,再以各边为边长向外构成 3 个大正方形,以此表现勾股定理及其证明过程,内部可以种上小麦以进一步突出背景。他相信,火星上的人发现这个图案后,能意识到该图案不会是天然的,一定是地球上智慧生命的杰作,便会主动与我们联络。

有线电报的编码方式出现后,法国发明家克洛建议在中亚腹地竖起成巨大阵列的反光镜,向火星反射太阳光,并以镜子的开合组成有意义的编码,希望以此引起火星人的注意。

1877 年火星大冲时,意大利米兰天文台台长吉宛尼·斯基帕雷利(G. Schiaparelli,图 3-130)用望远镜观测火星时,看见火星圆面上有若干"线条",他便把这些线条取名"水沟"(意大利文为"Canali"),他认为这是火星上的一种特殊地貌。不料这条消息译为英文时,"Canali"变成了"Canals"(运河),一下子轰动了整个文明世界:瞧,火星上发现了"运河",谁还能否认"火星人"的存在?

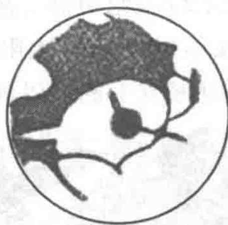




图 3-130 火星"运河说"的肇始者斯基帕雷利及他 1987 年绘制的火星水沟

"运河"的出现,既满足了当时人们对发现"火星人"的热望,也掀起了进一步发现"火星人"或与"火星人"联系的热潮。有不少人用望远镜观测火星时,都声称看到了运河,有的人虽然没看到,但也相信运河是存在的(图 3-131)。

为此,美国天文学家洛威尔(P. Lowell)在亚利桑那州建了一座天文台,利用

沙漠地区的宁静大气条件专门观测火星（兼寻找“海外行星”）。1894 年，他宣布发现了一百八十多条火星运河。随后他建立了一整套的火星运河理论，认为火星白色的极冠是冰川，它们夏季溶化为水，形成“北冰洋”，运河就从这里出发延伸，交汇于赤道附近的缺水地带，把这里灌溉成“绿洲”（图 3-132）。“火星人”就这样靠运河灌溉、通航来获得生存。既然运河如此之多，修建运河的工程必定十分浩大，“火星人”的文明程度一定远远超过了地球人，恐怕已经组成“世界政府”，等等。洛威尔出版了好几本妙趣横生的书，充分阐述他的主张，引起了公众极大的兴趣。他还以“火星人”和“火星运河”为题到处讲演，场场座无虚席。

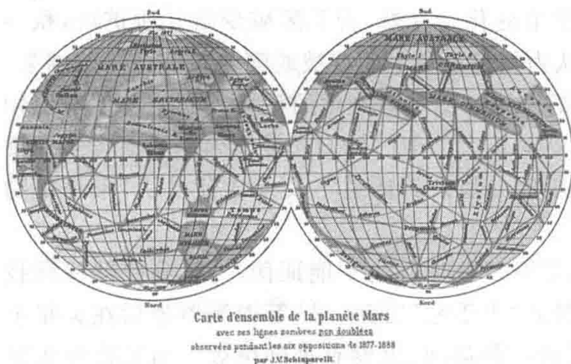


图 3-131　1888 年斯基帕雷利绘制的火星运河

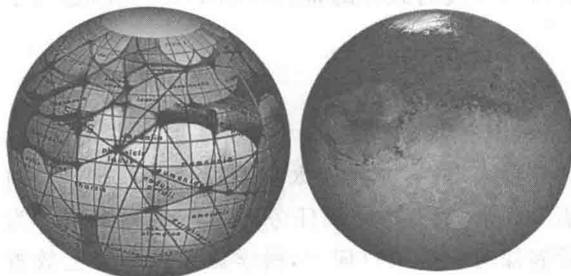


图 3-132　洛威尔绘制的火星表面图（左）与哈勃望远镜拍摄的火星照片（右）比较（阴影轮廓确有许多吻合之处，但在照片上找不到“运河”的线条）

1902 年，法国科学院设了大奖，准备奖给地球上第一个接触外星生命的人，但不包括与火星人接触，因为这太容易了——连他们挖的运河我们都看到了，与他们联系还不是指日可待！（图 3-133）

这时无线电已经发明，有人便制作尽可能大的天线，试图接收“火星人”向我们发来的无线电信号。1924 年火星大冲期间，美国军方在公众的压力下，甚至被迫停止无线电通信，以便减少科学家探测“火星人”信号时受到的干扰。



图 3-133　科幻作品中的火星人登陆

洛威尔的运河理论也遭到了不少人的反对。许多观测者说，他们连“水沟”也没有看见，如果说看见了，也只是由于一些断续的斑点闪烁不定，被想象成条纹。退一步说，即使真有条纹，难道不会是断崖或裂缝？人们询问火星“运河说”的肇始者斯基帕雷利时，他则顺水推舟，说：“我不反对这一推测（运河说）——没有任何事是不可能的。”

火星上有一些地貌确实在随季节变化。夏季，若干区域变暗并所扩展，秋冬则变淡和缩小。当时很多科学家认为这是火星上的植被或藻类春生秋萎的结果。20 世纪 50 年代，苏联天文学家曾把火星上随季节变化的深颜色光谱与地球上帕米尔高原植被航拍光谱进行比较，认为二者相似。他们还推测火星表面太阳照度低，所以火星植物的叶子呈蓝色，苏联一些大学还迫不及待地开设了“火星植物学”一课。

对于运河理论，当时的科技水平既不能证实也不能证伪，一直到空间探测技术出现。从 1964 年开始，美国发射的“水手号”“海盗号”等探测器先后在火星上飞过或着陆，发回的照片上没有见到一条运河，也没有见到植被。而且得知火星大气极为稀薄，到处是冰冻干燥的沙漠，弥漫着致命的紫外线和宇宙射线，这终于彻底否定了“火星人”的存在。

3. 搜寻与问候“外星人”

进一步的太空探测表明，太阳系的其他星球也是不可能居住着智慧生命的。从 20 世纪 70 年代，人们就把探索“外星人”的目光投向太阳系以外。1973—1974 年，美国发射的行星探测器“先驱者”10 号、11 号，完成任务后将飞出太阳系。为了让外星人一旦发现这些探测器后能知道它们来自何方，科学家在探测器上放置了地球人的“名片”(图 3-134)——一块书本大小的镀金铝片。名片上的“名字”是一对表示地球人的裸体男女，男的举右手致意。背后是按同样比例的飞行器轮廓图。“地址”栏则用 14 颗脉冲星标明太阳系在太空的相对位置，并用 10 个大小不一的圆圈表示太阳及当时的九大行星。左上角标出氢的超精细跃迁结构，表示地球人的“经营项目”——目前对宇宙的认识程度。

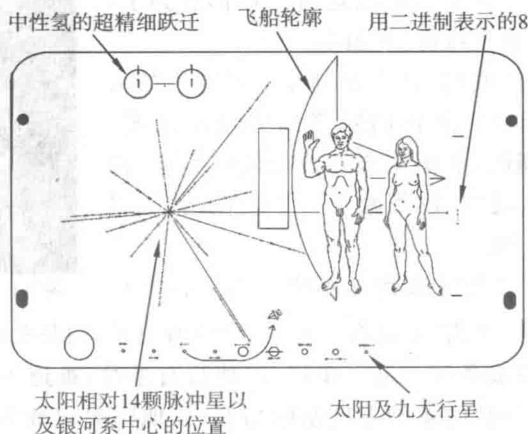
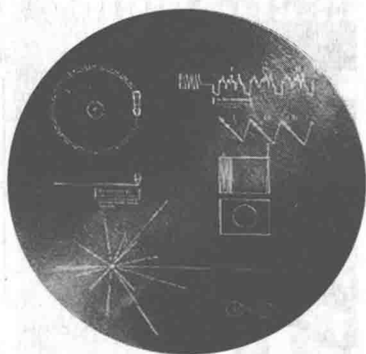


图 3-134　地球人的“名片”(当时冥王星尚未被“开除”)

1977 年，探测器“旅行者”1 号、2 号又相继出发，这次它们各携带了一套铜质镀金“地球之音”唱片(图 3-135)和一枚金刚石唱针。所录内容有：116 张图片(包括中国人过年聚餐的画面和长城的画面)、当时的联合国秘书长瓦尔德海姆对外星人的致词、35 种自然声响、27 首世界名曲(包括中国的《高山流水》和京剧唱段)、55 种语言的问候等。问候中的汉语普通话是：“各位都好吧！我们都很想念你们，有空请来玩。”



唱片上的符号指明了唱片的来源地(地球)及播放方法。比起今天的光碟，这种机械唱片已大大落后。

图 3-135　“旅行者”1 号、2 号携带的直径 30.5 cm 的“地球之音”唱片

其实，如果外星人截获了这些探测器的话，他们最关注的肯定是探测器本身，“旅行者号”的舱中配备有当时最先进的电脑，可是智慧的外星人会不会很失望呢？因为这些电脑的处理能力只相当于今日的一部智能手机，时隔不到 40 年，我们自己都感到拿不出手了。而且，这些探测器即使瞄准飞到最近的恒星，也得花费 4 万至 8 万年(何况实际上并没有瞄准)。可见，“送名片”的做法实在是不得已而为之的“严肃的儿戏”。

1974 年 11 月 16 日，美国天文学家德雷克领导的研究小组，在波多黎各阿雷西博天文台直径 305 m 射电望远镜镜面上，以 12.6 cm 的波长向武仙座球状星团 M13 发射了极强大的无线电信号，这是地球人向外星人的第一封问候电(图 3-136)。“电报”采用图像语言，由 1 679 个二进制数码组成，反复播放了 3 分钟。在这 3 分钟内，我们地球成了银河系中这一波段、这一方向的“超新星”——最“明亮”的天体。电报内容有：1 到 10 的二进制数码，生命五大基本元素氢、碳、氮、氧、磷的原子序数，DNA 的双螺旋结构，地球人的形象，太阳系行星排序及地球位置、大小等。可是，这是一封注定有去无回的问候电，因为 M13 距离我们实在太远了，信号虽然以光速飞行，我们接到回音时也得在几万年之后，我们的文明社会在日新月异，谁肯耐住寂寞，这么旷日持久地等待?!

将心比心，外星人大概也在茫茫宇宙中寻找“知音”，既然我们主动“求偶”这么希望渺茫，那么何不守株待兔，等待他们上门或来电？20 世纪 50 年代，从发达国家开始传出“UFO”(图 3-137)一词。“UFO”是英文“不明飞行物”的字头缩写，实际上已被热切盼望与外星人接触的人们当成“外星人飞行器”的同义词。但据美国“蓝皮书计划”几十年的研究，发现 99%的“不明飞行物”并非不明，另 1%的现象无法肯定是什么，需待进一步研究。

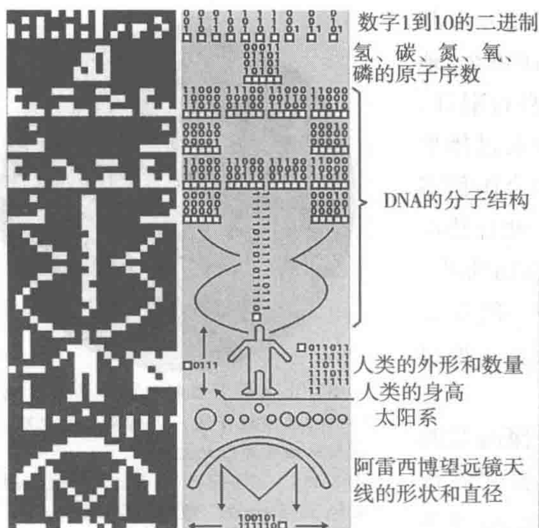


图 3-136　地球人向外星人的第一封问候电





图 3-137　几乎被人当成“外星人飞行器”同义词的“UFO”



图 3-138　互相寻找“外星人”（漫画）

看来，最省力、可靠的办法还是直接接收外星人的信号（图 3-138）。1960 年，美国国家射电天文台启动“奥兹玛计划”（奥兹玛是童话故事中住在天上的美丽公主），用当时先进的射电望远镜监听我们的近邻——与太阳相似的波江座 ε 和鲸鱼座 τ 两颗星，但无结果。1968 年，苏联科学家在 21、30 cm 波长处监听了我们附近的 12 颗恒星，也没有结果。

1972 年，美国执行第二期奥兹玛计划，监听 80 光年内约 600 颗类似太阳的恒星，平均每星 6—7 次，每次 4 分钟。从 1983 年开始，美国海特·克顿克天文台用 26 m 射电望远镜记录了太空 4 000 个可疑信号。后来发现只有 10 个真正可疑，但又辨别不出意义。近 50 年来，各国执行了大大小小九十多个搜索计划，国际天文学联合会还建立了“搜索外星生命委员会”（被谑称“唯一没有对象的科学领域”）来统筹安排这些搜索。遗憾的是，直到跨入 21 世纪多年，搜索仍然没有任何结果。人们甚至希望，即使找不到活的，哪怕接受点“外星文化遗产”也是好的，可是仍然没有。也许，所有的外星文明都与我们想的一样，嫌主动求偶太没希望，都在傻等别人的主动，那可就都没希望了。

还有一种担忧最近呼声越来越高:外星人一定对我们是友好的吗?可做这样的类比:地球上先进技术文明与落后技术文明的接触史几乎都是一部辛酸史,最后技术上不太先进的社会被消灭殆尽(尽管他们在人文或道德方面可能是先进的)。如果这在地球上是自然规律,有什么理由说在宇宙中就不是呢?如果有外星文明,他们很可能比我们先进一万年、百万年,那么我们的求索会不会成了在野兽出没的黑暗原始丛林里“点燃了篝火并大声呼喊”,把祸患招来?

4. *反思:什么是“外星人”?*

探询无结果,问讯无回声,有人便回头反思:究竟什么才算是“外星人”?

这时,我们才发现,我们连“外星人”“地外生命”“地外文明”的定义尚未弄清,就大谈“UFO”“××被外星人劫持”“小绿人”等等,所做所述难免匪夷所思。“人类”和“宇宙”一样,我们面对的只有一个样本,而且“人类”就是我们自身,科学目前对我们人类自身理解得还极其有限。科幻作品塑造的以及自称目击者描述的“外星人”全是地球人的拓扑变形(图3-139),到目前为止,全部“外星人”的概念根本就是地球人的翻版。



图3-139 科幻作品塑造的以及自称目击者描述的“外星人”全是地球人的拓扑变形

“外星人”的内涵到底是什么?有的学者从思辨的角度称:“外星人”和“地外文明”不过是现代科学炮制出来的超验神话,它既无法证实,也无法证伪。这种观点可能过于偏激了,但事实上目前实证化的科学思维方式确实忽视了“生命”的独特性和神秘性,以一种普遍主义的眼光把“地球人”撒向全宇宙。如果我们在某外星上发现了类似蜜蜂或白蚁的建筑和社会,算不算发现了外星人?如果我们无法与它们沟通,能否定它们是智慧生命吗?那么反过来讲,只要是智慧生命,我们就一定能与它们沟通吗?

最令人关心的是:究竟什么外界条件,才能产生和存在“生命”?以往一讲起生命存在的条件,首先要提到三条:水、氧气和适宜的温度,其实这又是回归到了地球,谈的是地球上生命存在的条件。何况人们早已发现,地球上的生命也有厌氧细菌、也有在100℃以上高温处生活的深海生物。因此,俄罗斯数学家科尔莫戈罗夫(A. Kolmogorov)曾指出:现有对生命的看法都依赖于对地球生命的研究,应该有一个不依赖具体物质形态的、普遍的(因而是全宇宙的)生命定义。

如果我们探测到什么地方温度和地球不一样，就立刻断定那儿没有生命存在，那么结论未免下得武断了，甚至地球上都有在接近沸水的温度下生活的鱼类。有的科学家已经设想过在高温环境下生命存在的可能性。比如，高温的行星可能会产生硅为基础的生命，进化出的智慧生命不妨可称作"硅基人"，他们感到舒适的气温是200—400℃，在硫黄蒸气组成的大气中呼吸，游动在滚烫的熔岩海洋中泡"温水澡"。这些坚如磐石的生命估计会比地球人长寿，但如果他们来到地球的大气中，立刻就会被冻死和毒死。如果硅基人和我们一样以自我为中心，会认为地球是个根本不可能有生命的寒冷星球。

同样，科学家也设想了低温环境下出现的生命。这时，液态氨可能会代替水的生命功能，产生的氨基生命会进化出"氨基人"。"氨基人"生活在低温、高压的行星上，如果他们来到地球上，会像我们看待金星一样感到地球是个可怕的星球——它有着巨大的热酸海洋，还经常下起滚烫的酸雨，"人"一着陆就得被毒死或烫死。

因此，我们不能听任自己的眼界只局限于一个小角落，以某种无意识的偏见，忽略大量可能产生的情况。甚至还可以设想：生命是否一定要生活在行星表面？能否生活在行星内部的巨大空穴中？能否居住在彗星（核）表面甚至内部？抑或自由地生存于星际空间？

我们也可以想象，微观世界会不会有生命甚至智慧生命？这些智慧生命以原子核为地，以电子云为天，建立起自己的家园，他们是那样微小，与我们又不是一个物质层次和通信层次，以至于我们用最高倍的电子显微镜也寻不到他们的踪影？……我们还可以设想，宇宙间会不会有这样庞大的生命：他们是那样硕大无朋，原来我们的超星系团只不过是他口中呼出的一口空气？虽然早有科学家论述过，量子世界过于随机、星系世界又过于机械，不会从中产生生命，可是我们未知的事物太多了，我们自身的存在就是一个奇迹，谁能保证哪件事是绝对不可能的呢？"制造"火星运河的斯基帕雷利说得不错："没有任何事是不可能的。"科幻电影《宇宙奇舰泰坦号》（《冰冻星球》）中幻想了爵奇人的形象——这种人没有实体，靠精神力量凝聚而成，它们的飞船、设施也是精神力量凝聚而成的。如果真有这种生命的话，这又是生命的什么级别形式？

试想这种种可能的智慧生命，怎么能简单地把他们都回归到"地球人"的单一层次？！

人类思想史告诉我们：人类视野的每一次扩展，都是在发现自己的局限性；同样，科学史告诉我们：人类视野的每一次扩展，也是在发现自己的孤独。人类的"知音"——"外星人"，真的是一个虚无缥缈的现代神话吗？我们相信，无论如何，

面对浩渺无垠的宇宙，人类探索的脚步是不会停止的。也许真有那么一天，人类会在茫茫宇宙中找到自己的“知音”呢！到那一天，我们将终于看到：茫茫宇宙，果然不都是荒凉死寂的沙漠，也还点缀着几片“绿洲”，这该给我们以多大的安慰！当年，“阿波罗11号”载着宇航员踏上月球的土地时，梵蒂冈教皇就称赞：人类登月是“创世纪以来最伟大的成就”。如果我们找到了外星人呢？那真可以说是创世纪“以外”最伟大的成就了。到那时，我们现在称颂的“国际主义”就要为“星际主义”所代替。

这些“外星人”长得什么样？能与我们沟通吗？人类尽可以展开想象的翅膀，比如上文的种种设想和“反思”以及无数科幻作品的描述，但其想象力也还是比不上大自然创造力的万亿分之一。这就是人类智慧的巨大局限。也许，宇宙中只有异想天开的东西才是最真实的。不必多解释了，爱因斯坦都说过：“人类能理解宇宙”这件事就够让人不可理解的了。那么，试图描画未知的宇宙，我们这些凡夫俗子哪里担当得起？

参考文献

1 [英]霍斯金.剑桥插图天文学史[M].江晓原,关增建,钮卫星,译.济南:山东画报出版社,2003.

2 [法]G 伏古勒尔.天文学简史[M].李珩,译.桂林:广西师范大学出版社,2003.

3 中国天文学史整理研究小组.中国天文学史[M].北京:科学出版社,1981.

4 陈遵妫.中国天文学史[M].上海:上海人民出版社,2006.

5 江晓原.天学外史[M].上海:上海人民出版社,1999.

6 钮卫星.天文学史——一部人类认识宇宙和自身的历史[M].上海:上海交通大学出版社,2011.

7 崔振华,陈丹.世界天文学史[M].长春:吉林教育出版社,1993.

8 萧耐园,宣焕灿.图解天文学史[M].南京:南京大学出版社,2012.

[General Information]
书名=大众天文学史
作者=王玉民著
页数=228
SS号=13790988
DX号=
出版日期=2015.06
出版社=山东科学技术出版社